

## UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

BORANG PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR PENYELIDIKAN

TAJUK PROJEK : APPLICATION OF REAL TIME TIDAL ACQUISITION AND  
PROCESSING SYSTEM FOR HYDROGRAPHIC SURVEY  
AND DREDGING OPERATIONS

Saya PROF. DR. MOHD RAZALI BIN MAHMUD  
(HURUF BESAR)

**Mengaku membenarkan Laporan Akhir Penyelidikan ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :**

1. Laporan Akhir Penyelidikan ini adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat penjualan salinan Laporan Akhir Penyelidikan ini bagi kategori TIDAK TERHAD.
4. \* Sila tandakan ( ✓ )

☐

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972).

☐

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh Organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan).

☒TIDAK  
TERHAD

\_\_\_\_\_  
TANDATANGAN KETUA PENYELIDIK

\_\_\_\_\_  
Nama & Cop Ketua Penyelidik

Tarikh : 09 APRIL 2008

**CATATAN :** *\*Jika Laporan Akhir Penyelidikan ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan*

APPLICATION OF REAL TIME TIDAL ACQUISITION AND PROCESSING  
SYSTEM FOR HYDROGRAPHIC SURVEY AND DREDGING OPERATIONS

VOT 74266

Prof. Dr. Mohd Razali Mahmud  
Rusli Othman  
Usmuni Din

Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi  
Universiti Teknologi Malaysia

APPLICATION OF REAL TIME TIDAL ACQUISITION AND PROCESSING  
SYSTEM FOR HYDROGRAPHIC SURVEY AND DREDGING OPERATIONS

VOT 74266

Prof. Dr. Mohd Razali Mahmud  
Rusli Othman  
Usmuni Din

A report submitted to the Research Management Centre  
Universiti Teknologi Malaysia

Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi  
Universiti Teknologi Malaysia

## PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih diucapkan kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi Malaysia (MOSTI) di atas pembiayaan bagi melaksanakan penyelidikan ini dan juga kepada *Research Management Centre* (RMC), Universiti Teknologi Malaysia kerana memberikan sokongan dan dorongan yang tak terhingga sepanjang penyelidikan ini dijalankan.

Terima kasih juga diucapkan kepada beberapa pihak yang telah menyumbangkan data yang terkandung dalam kajian ini terutamanya, Tentera Laut Diraja Malaysia (TLDM) khasnya seksyen Geodesi. Selain daripada itu, ucapan terima kasih juga ditujukan kepada semua pihak yang telah membantu bagi menyempurnakan kajian ini.

Akhir sekali, ribuan terima kasih diucapkan kepada semua staff dan juga *research assistants* di *Hydrographic Research and Training Office*, Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia yang telah banyak memberikan bantuan dan sokongan dalam kajian ini. Terima kasih juga kepada semua individu yang terlibat dalam kajian ini sama ada secara langsung atau tidak. Hanya Tuhan sahaja yang dapat membalas jasa anda semua.

## ABSTRAK

Kejadian pasang surut merupakan fenomena yang sangat menarik dan menyimpan pelbagai ilmu pengetahuan yang memerlukan kajian yang berterusan. Sesuai dengan kedudukan Semenanjung Malaysia yang dikelilingi oleh laut, kajian tentang pasang surut amat penting terutamanya dalam penentuan ramalan pasang surut, aras purata laut dan datum carta. Komponen ini dapat diperolehi melalui perhitungan analisis pasang surut.

Data cerapan pasang surut dicerap menggunakan tolok pasang surut biasa di mana data diperolehi secara analog. Manakala data cerapan pasang surut yang dicerap menggunakan tolok pasang surut digital, data yang diperolehi adalah secara digital. Kebiasaannya, data-data cerapan ini akan diproses selepas pengukuran diambil. Walau bagaimanapun, pemprosesan data cerapan pasang surut boleh dilakukan pada masa hakiki, tetapi masih kurang digunakan secara meluas di dalam pengukuran hidrografi. Oleh itu, untuk menjalankan pemprosesan secara hakiki, tolok pasang surut digital diintegrasikan bersama *radio link* untuk mendapatkan data yang lebih jitu. Dalam pada itu, suatu perisian iaitu UTM-Tidal Analysis and Prediction Software ( $\mu$ -TAPS) telah dibangunkan untuk melakukan pemprosesan data secara automasi untuk penyelidikan ini. Konsep perisian ini berasaskan kepada kaedah harmonik menggunakan pelarasan kuasa dua terkecil. Bagi melihat keupayaan  $\mu$ -TAPS, hasil perhitungan analisis dan ramalan pasang surut telah dibandingkan dengan Jadual Ramalan Pasang Surut yang diterbitkan oleh Tentera Laut Diraja Malaysia (TLDM) terhadap data daripada tempoh empat bulan di stesen cerapan pasang surut Johor Bahru. Secara keseluruhannya, perisian yang telah dibangunkan dapat dijadikan alternatif bagi analisis dan ramalan pasang surut di Malaysia.

## **ABSTRACT**

Tidal occurrence is an interesting phenomena and stores various knowledge in which requires continuous studies. Due to the position of Peninsular Malaysia that is surrounded by water, the studies on tide is important especially in determining tidal prediction, mean sea level and chart datum. These components can be determined through tidal analysis. The tidal data is obtained manually in non real time using typical tide gauge or digital tide gauge. The typical tide gauge will produce tidal data in analogue form while the digital tide gauge will produce tidal data in digital form. This data will be used to correct sounding values by post processing. Although some studies have claimed that on-line tidal corrections are possible to correct for sounding, unfortunately to-date these studies are not implemented widely in hydrographic surveying. On-line tidal corrections would enable sounding to be corrected immediately and hence will be significant for most hydrographic survey and dredging operations. Furthermore, to enable the on-line tidal corrections, the digital tide gauge will be integrated with radio link to enhance the realibility and validity of data. Hence, software known as UTM-Tidal Analysis and Prediction Software ( $\mu$ -TAPS) that can process data automatically have been used in this research. The concept used by this software is based on the harmonic method using least squares estimation. In accessing the capabilities of  $\mu$ -TAPS, the results of the computational analysis and tidal prediction were compared with the Tide Tables produced by the Royal Malaysian Navy (RMN) at Johor Bahru tidal observation stations using a minimum period of four month of data. In conclusion, the software developed can be an alternative for tidal analysis and prediction in Malaysia

## **KANDUNGAN**

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGHARGAAN</b>	i
	<b>ABSTRAK</b>	ii
	<b>ABSTRACT</b>	iii
	<b>KANDUNGAN</b>	iv
	<b>SENARAI JADUAL</b>	ix
	<b>SENARAI RAJAH</b>	x
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xiii
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xv
<b>1</b>	<b>Pengenalan</b>	
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Pernyataan Masalah	4
	1.3 Objektif Kajian	7
	1.4 Skop Kajian	7
	1.5 Kepentingan Kajian	9

2.1	Pendahuluan	10
2.2	Definisi dan Fenomena Pasang Surut	11
2.2.1	Definisi Pasang Surut	11
2.2.2	Fenomena Pasang Surut	11
2.3	Jenis-Jenis Pasang Surut	13
2.4	Datum Carta dan Aras-Aras Laut	16
2.4.1	Datum Carta	16
2.4.2	Aras-Aras Laut	18
2.5	Kaedah Analisis Harmonik	21
2.6	Ramalan Pasang Surut	23
2.7	Sistem Bumi, Bulan dan Matahari	24
2.6.1	Pergerakan Bulan	24
2.6.2	Pergerakan Matahari	27
2.8	Bulan Siderius dan Bulan Sinodis	29
2.9	Daya-Daya Pasang Surut	30
2.10	Daya Jana Pasang Surut	30
2.11	Perbandingan Daya Jana Akibat Daya Tarik Bulan dan Matahari	40
2.12	Daya Kesimbangan Pasang Surut	42
2.13	Kesimpulan	45

### **3 KAEDAH ANALISIS HARMONIK MENGUNAKAN TEKNIK PELARASAN KUASA DUA TERKECIL**

3.1	Pendahuluan	46
3.2	Juzuk-Juzuk Pasang Surut	47
3.3	Pemilihan Juzuk-Juzuk Pasang Surut	47



3.3.1	Pemilihan Juzuk-Juzuk Pasang Surut Berdasarkan Halaju Sudut	48
3.3.2	Pemilihan Juzuk-Juzuk Pasang Surut Berdasarkan Period Sinodik	49
3.4	Analisis Harmonik	51
3.4.1	Penyelesaian Persamaan	51
3.4.2	Pembentukan Matriks	54
3.5	Sisihan Piawai Bagi Cerapan Tinggi air	58
3.6	Perambatan Selisih Bagi Amplitud Dan Fasa	59
3.7	Parameter $s$ , $h$ , $p$ , $p'$ dan $N$	59
3.8	Bilangan Doodson	64
3.9	Perhitungan Pembetulan Amplitud dan Susulan Fasa	65
3.10	Kesimpulan	70

#### 4 DISKRIPSI DATA DAN CERAPAN PASANG SURUT

4.1	Pendahuluan	71
4.2	Jenis-Jenis dan Asas Penggunaan Tolok Ukur Pasang Surut	72
4.3	Asas Pemasangan Alat Tolok Ukur Pasang Surut	81
4.4	Rekod Data Tolok Ukur Pasang Surut	82
4.5	Format Data $\mu$ -TAPS	88
4.6	Penukaran Data Ke Dalam Format Data $\mu$ -TAPS	89
4.7	Kesimpulan	85

**5****PEMBANGUNAN PENGATURCARAAN  
 $\mu$ -TAPS ANALISIS DAN RAMALAN  
PASANG SURUT**

5.1	Pendahuluan	86
5.2	Asas Pembangunan Pengaturcaraan $\mu$ -TAPS	87
5.3	Format Data Pasang Surut Dengan Perisian $\mu$ -TAPS	89
5.4	Pemprosesan Dan Ramalan Pasang Surut Dengan Perisian $\mu$ -TAPS	90
5.5	Hubungan Antara Menu dan Sub Menu	90
5.6	Kesimpulan	91

**6****KEPUTUSAN DAN ANALISIS**

6.1	Pendahuluan	93
6.2	Ujian Prestasi $\mu$ -TAPS	94
6.2.1	Hasil Analisis Pasang Surut Bagi Data Cerapan di Stesen Johor Bahru Menggunakan $\mu$ -TAPS	94
6.3	Perbandingan Hasil Analisis Pasang Surut	95
6.3.1	Perbandingan Hasil Analisis Pasang Surut Antara $\mu$ -TAPS Dengan TLDM Bagi Stesen Johor Bahru	97
6.4	Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut	98
6.4.1	Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut	

Antara $\mu$ -TAPS Dengan RMN	98
-------------------------------	----

6.4.1.1 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bulan November 2005	99
---	----

6.4.1.2 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bulan Disember 2005	103
---	-----

6.4.1.3 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bulan Januari 2006	106
--	-----

6.4.1.4 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bulan Februari 2006	109
---	-----

6.5 Kesimpulan	112
----------------	-----

## 7 KESIMPULAN DAN CADANGAN

7.1 Pendahuluan	113
7.2 Kesimpulan Kajian	114
7.2.1 Pembangunan Pengaturcaraan $\mu$ -TAPS	114
7.2.2 Fenomena Dan Jenis Pasang Surut Semenanjung Malaysia	115
7.3 Cadangan	115
7.4 Penutup	116

SENARAI RUJUKAN	118
LAMPIRAN A - E	121 – 134

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Aras-aras laut yang berlaku secara umum	19
2.2	Aras-aras laut yang berlaku bagi pasang surut harian	20
2.3	Aras-aras laut yang berlaku bagi pasang surut setengah harian	20
2.4	Parameter bumi, bulan dan matahari	35
3.1	Contoh nilai Bilangan Doodson	64
4.1	Spesifikasi tolok pasang surut <i>Valeport</i>	79
4.2	Spesifikasi tolok pasang surut <i>Global Water</i>	80
6.1	Perbezaan datum carta (LAT), jenis pasang surut dan sisihan piawai bagi stesen pasang surut Johor Bahru	97
6.2	Perbezaan nilai juzuk utama $\mu$ -TAPS dengan TLDM bagi stesen pasang surut Johor Bahru	97
6.3	Perbezaan aras-aras laut antara $\mu$ -TAPS dengan TLDM bagi stesen pasang surut Johor Bahru	97
6.4	Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan November	102
6.5	Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan Disember	105
6.6	Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan Januari	108
6.7	Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan Februari	111

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Carta alir menunjukkan pendekatan masalah penelitian	6
1.2	Peralatan yang digunakan semasa penyelidikan dijalankan	8
2.1	Proses terjadinya pasang surut akibat pengaruh pergerakan bulan mengelilingi bumi	12
2.2	Pengaruh bulan pada deklinasi $20^\circ$	13
2.3	Jenis-jenis pasang surut	15
2.4	Aras-aras laut	19
2.5	Gelombang harmonik pembentuk gelombang pasang surut	23
2.6	Pergerakan bulan	25
2.7	Deklinasi orbit bulan dengan ekliptik	26
2.8	Keterlambatan 51 minit terbenamnya bulan dibandingkan matahari	27
2.9	Pergerakan matahari	28
2.10	Bulan siderius dan bulan ijtimak	29
2.11	Daya jana pasang surut	30
2.12	Daya satu partikel di permukaan bumi	31
2.13	Pusat graviti bersama antara bumi dan bulan	33
2.14	Gerakan bumi dan bulan pada pusat graviti bersama	34
2.15	Komponen vertikal dan horizontal daya jana pasang surut	35
3.1	Sukuan pada koordinat matematik	57

3.2	Perhitungan sudut waktu bulan	60
3.3	Konsep hitungan susulan fasa	69
4.1	Pancang pasang surut	74
4.2	Stesen-stesen pasang surut di Semenanjung Malaysia	76
4.3	Stesen-stesen pasang surut di Sabah dan Sarawak, Malaysia	76
4.4	Stesen pasang surut JUPEM di Kukup, Johor	77
4.5	Tolok pasang surut jenis DFT-1	77
4.6	<i>Valeport</i> model 740	79
4.7	<i>Global Water</i> jenis <i>WL15X WATER LEVEL LOGGER</i>	80
4.8	Deskripsi format data yang direkod oleh <i>Kyowa Shoko DFT-1 Floating Tide Gauge</i>	83
4.9	Deskripsi format data yang direkod oleh tolok pasang surut <i>Valeport</i>	84
4.10	Deskripsi format data yang direkod oleh tolok pasang surut <i>Global Water</i>	85
5.1	Asas pembangunan pengaturcaraan $\mu$ -TAPS	87
5.2	Visual daripada menu utama	88
5.3	Visual menu penukaran format data ke $\mu$ -TAPS	89
5.4	Visual sub menu penukaran format data <i>Valeport</i> ke $\mu$ -TAPS	89
5.5	Hubungan menu-menu pada pengaturcaraan $\mu$ -TAPS	91
6.1	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 01-07 November 2005	99
6.2	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 08-21 November 2005	100
6.3	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 22-30 November 2005	101
6.4	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN	

	pada 01-14 Desember 2005	103
6.5	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 15-28 Desember 2005	104
6.6	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 29-31 Desember 2005	105
6.7	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 01-14 Januari 2006	106
6.8	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 15-28 Januari 2006	107
6.9	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 29-31 Januari 2006	108
6.10	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 01-14 Februari 2006	109
6.11	Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 15-28 Februari 2006	110

## SENARAI SIMBOL

$a$	-	Jejari bumi
$A_r$	-	Amplitud juzuk pasang surut
$CD$	-	Datum Carta
$D$	-	Bilangan hari dalam setahun pada pertengahan tempoh cerapan
$F$	-	<i>Form number</i>
$f_r$	-	Nilai pembetulan fasa
$F_t$	-	Daya tarikan
$g$	-	Nilai graviti
$G$	-	Pemalar daya tarikan
$Go$	-	Pusat graviti bersama bumi dan bulan
$g_r$	-	Susulan fasa
$h$	-	Longitud purata daripada matahari
$h_t$	-	Tinggi air cerapan
$\hat{h}_t$	-	Tinggi air sebenar
$i$	-	Nilai integer dari jumlah tahun lompat ( <i>leap year</i> ) dari tahun 1901 sehingga tahun ke Y
$k_1$	-	Bilangan bulat faktor pekali untuk $t$
$k_2$	-	Bilangan bulat faktor pekali untuk $s$
$k_3$	-	Bilangan bulat faktor pekali untuk $h$
$k_4$	-	Bilangan bulat faktor pekali untuk $p$
$k_5$	-	Bilangan bulat faktor pekali untuk $N$
$k_6$	-	Bilangan bulat faktor pekali untuk $p'$
$K_m$	-	Daya jana bulan
$K_s$	-	Daya jana matahari



$m$	-	Jisim
$m_e$	-	Jisim bumi
$m_m$	-	Jisim bulan
$m_s$	-	Jisim matahari
$N$	-	Longitud purata daripada nod menaik
$p$	-	Longitud purata titik <i>perigee</i> terhadap orbit bulan
$p'$	-	Longitud purata titik <i>perigee</i> terhadap orbit matahari
$PS$	-	Period sinodik
$R$	-	Jarak pusat bulan ke permukaan bumi
$r_1$	-	Jarak pusat bulan ke pusat bumi
$r_2$	-	Jarak pusat matahari ke pusat bumi
$s$	-	Longitud purata daripada bulan
$So$	-	Aras laut min dengan lama cerapan 18.6 tahun
$t$	-	Masa
$T$	-	Waktu abad julian yang bermula dari satu hari bulan Januari 1900
$\sigma$	-	Sisihan piawai
$V_g$	-	Fasa pasang surut keseimbangan dihitung dari Greenwich
$Y$	-	Tahun masihi pada waktu dilakukan cerapan
$Zo$	-	Aras laut min sementara
$\alpha_b$	-	Jarak hamal dari bulan khayalan
$\delta$	-	Deklinasi bulan
$\zeta$	-	Tinggi pasang surut keseimbangan
$\theta$	-	Deklinasi
$\theta_r$	-	Fasa awalan
$\mu$	-	Faktor pembetulan fasa bergantung pada posisi nod
$\tau$	-	Waktu bulan di Greenwich
$\varphi$	-	Latitud pencerap
$\omega$	-	Halaju juzuk pasang surut

## SENARAI SINGKATAN

ALM	-	Aras Laut Min
APAM	-	Air Pasang Anak Min
APFT	-	Air Pasang Falak Tertinggi
APPM	-	Air Pasang Perbani Min
APRM	-	Air Pasang Rendah Min
APSM	-	Aras Pasang Surut Min
APTM	-	Air Pasang Tinggi Min
ASAM	-	Air Surut Anak Min
ASFT	-	Air Surut Falak Terendah
ASPM	-	Air Surut Perbani Min
ASRM	-	Air Surut Rendah Min
ASTM	-	Air Surut Tinggi Min
HAT	-	<i>Highest Astronomical Tide</i>
IHO	-	<a href="#"><u>International Hydrographic Organization</u></a>
ISLW	-	<i>Indian Spring Low Water</i>
JUEM	-	Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia
LAT	-	<i>Lowest Astronomical Tide</i>
MHHW	-	<i>Mean Higher High Water</i>
MHLW	-	<i>Mean Higher Low Water</i>
MHWN	-	<i>Mean High Water Neaps</i>
MHWS	-	<i>Mean High Water Springs</i>
MLHW	-	<i>Mean Lower High Water</i>
MLLW	-	<i>Mean Lower Low Water</i>
MLWN	-	<i>Mean Low Water Neaps</i>
MLWS	-	<i>Mean Low Water Springs</i>

MSL	-	<i>Mean Sea Level</i>
MTL	-	<i>Mean Tide Level</i>
TLDM	-	Tentera Laut Diraja Malaysia

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Laut merupakan 71 peratus daripada keseluruhan permukaan bumi. Fenomena ini sangat penting untuk di fikirkan supaya laut dapat memberi manfaat kepada manusia di permukaan bumi ini. Oleh itu, penyelidikan secara berterusan perlu dilakukan bagi memperolehi manfaat daripadanya. Hal ini adalah seiring dengan pembangunan sektor maritim yang menumpukan kepada penerokaan sumber alam semula jadinya. Terdapat pelbagai sumber alam semula jadi di dalam sektor maritim yang boleh dibangunkan termasuk perikanan, biologi, geologi, perhubungan laut, petroleum dan lain-lain lagi. Dalam melaksanakan pembangunan tersebut, penggunaan data geofizik, oseanografi dan meteorologi laut adalah menjadi satu keperluan penting dan bidang oseanografi

merupakan bidang yang sangat penting dalam kegiatan pembangunan di pinggir pantai maupun di luar pesisir pantai.

Menurut Webster's New Collegiate Dictionary (1981): " Oseanografi merupakan suatu ilmu yang berhubungan dengan maritim yang merangkumi aspek-aspek luas, kedalaman, sifat fizik, kimia, biologi dari air laut dan eksploitasi sumber alam semula jadinya". Sesuai dengan definisi tersebut, maka oseanografi dapat dibahagikan kepada:

- Oseanografi kimia
- Oseanografi fizik
- Oseanografi biologi
- Oseanografi geologi

Daripada pembahagian diatas, bahagian yang mempunyai hubungan dengan ilmu hidrografi adalah oseanografi fizik. Teori yang dipelajari dalam bidang ilmu oseanografi fizik lebih menitikberatkan pada sifat-sifat air laut dan dinamik air laut. Perkara-perkara yang melibatkan sifat-sifat air laut ialah seperti suhu, kemasinan dan ketumpatannya. Manakala perkara-perkara yang melibatkan dinamik air laut ialah bidang oseanografi yang melibatkan daya-daya yang mempengaruhi terjadinya fluktuasi air laut yang terdiri dari daya utama dan daya tambahan. Daya-daya utama itu adalah daya jana pasang surut dan daya pasang surut keseimbangan.

Pasang surut merupakan peristiwa naik-turunnya permukaan air laut yang disebabkan oleh dua faktor utama iaitu:

- Faktor elemen astronomi, yang melibatkan daya tarikan antara badan cakerawala terutama bulan dan matahari.
- Faktor elemen bukan astronomi, yang melibatkan arus, gelombang, angin, topografi dasar laut, gempa bumi dan lain-lainnya.

Kerana kedua-dua faktor di atas, maka nilai naik-turunnya permukaan air laut selalu berubah-ubah dan bergantung pada perubahan kedudukan dari badan cakerawala terhadap tempat melakukan cerapan pasang surut.

Cerapan pasang surut merupakan aktiviti yang penting pada bidang hidrografi dan oseanografi. Dalam penentuan kedalaman dasar laut, tentunya memerlukan suatu datum rujukan yang harus ditentukan, disebut datum carta. Begitu juga dengan pengukuran di darat, yang memerlukan rujukan ketinggian iaitu aras laut min. Kedua-dua rujukan tersebut dapat diperolehi dari kajian dan analisis dari pasang surut air laut. Dengan demikian jelas bahawa kajian mengenai pasang surut sangat penting dan perlu difahami agar dapat menyokong kegiatan kejuruteraan di laut dan darat.

Berkaitan dengan pasang surut, umumnya bidang tugas yang dilakukan oleh seorang jurukur hidrografi meliputi:

- Cerapan pasang surut
- Analisis pasang surut
- Ramalan pasang surut

Cerapan pasang surut merupakan aktiviti mencatat tinggi rendah pasang surut yang terjadi dalam sela waktu tertentu. Daripada data tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan perhitungan juzuk-juzuk pasang surut, menentukan jenis pasang surut dan aras laut min. Hasil analisis pasang surut akan dijadikan sebagai asas kepada perhitungan ramalan pasang surut, oleh sebab itu jelas bahawa kejituan ramalan pasang surut sangat bergantung pada kejituan perhitungan juzuk-juzuk yang dihasilkan oleh analisis pasang surut.

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Pasang surut adalah fenomena alam yang menggambarkan naik-turunnya permukaan air laut. Banyak pakar di luar negara sudah melakukan kajian mengenai pasang surut tetapi berlainan keadaannya di Malaysia.

Perisian analisis dan ramalan pasang surut yang digunakan selama ini adalah perisian yang dibuat oleh negara luar tanpa tahu kaedah perhitungan dan kaedah pengoperasian yang digunakan, ini sangat mungkin merupakan punca terlambatnya kita dalam mempelajari fenomena pasang surut khasnya bagi perairan Malaysia.

Pihak yang selama ini bertanggung jawab terhadap analisis dan ramalan pasang surut seperti Tentera Laut Diraja Malaysia (TLDM) menggunakan perisian yang dibuat oleh University of Flinders, Australia dan Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) menggunakan perisian yang dibuat oleh Jepun, mengakibatkan hanya pihak tertentu sahaja yang tahu cara pengoperasian perisian tersebut.

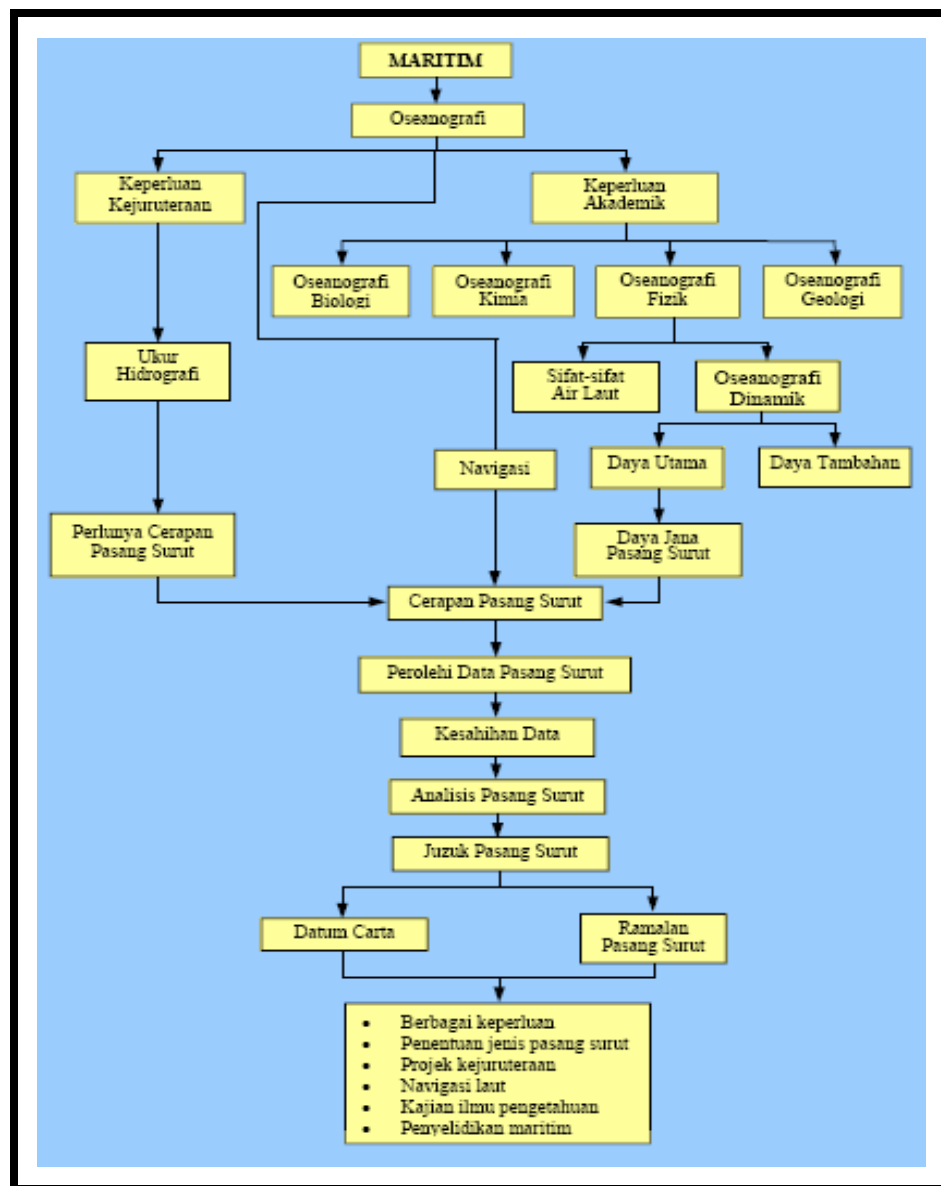
Dengan demikian jelas bahawa selama ini masih sangat bergantung pada perisian tersebut dalam memproses data cerapan pasang surut. Permasalahan yang cuba untuk dibongkar iaitu:

- Penguasaan teori pasang surut dengan lebih mendalam dan sempurna.
- Pembangunan aturcara komputer sendiri hasil daripada penguasaan teori perhitungan, analisis, dan ramalan pasang surut.

Selain daripada itu, dengan pembangunan perisian tersebut ia dijadikan sebagai asas dan pemangkin bagi keperluan kajian, kejuruteraan dan keperluan lain yang berkait dengan pasang-surut seperti pengukuran dan ramalan pasang surut masa hakiki



menggunakan Global Positioning System (GPS), penentuan garis pesisir (shoreline) untuk penentuan sempadan kawasan berdasarkan cerapan pasang surut yang jitu, dan masih banyak kepentingan lain yang memerlukannya. Tujuan terpenting adalah dapat menjalankan kerja pengukuran dan ramalan pasang surut secara hakiki bersama perisian u-Taps yang dibagunkan oleh Universiti Teknologi Malaysia (UTM). Oleh itu, bagi segala keperluan di masa hadapan tidak lagi bergantung kepada perisian yang dibuat oleh negara luar. Sehubungan dengan permasalahan tersebut maka kajian ini perlu untuk melakukan pendekatan masalah seperti penjelasan carta alir berikut:



**Rajah 1.1** Carta alir menunjukkan pendekatan masalah penelitian

### 1.3 Objektif Kajian

Objektif kajian adalah seperti berikut:

- (i) Mendapatkan pemerolehan data cerapan secara hakiki menggunakan teknik radio link.
- (ii) Membangunkan sistem pengukuran pasang surut yang mampu untuk memproses data cerapan secara langsung untuk tujuan pengukuran hidrografi dan operasi pengorekan.
- (iii) Membangunkan perisian pemprosesan pasang surut secara hakiki

#### **1.4 Skop Kajian**

Skop kajian pada penyelidikan ini adalah sebagai berikut:

- (i) Menggunakan perisian u-Taps bagi perhitungan analisis dan ramalan pasang surut daripada data cerapan yang dicerap dalam tempoh empat bulan satu, tiga, enam, dua belas bulan serta dapat menentukan aras-aras air laut secara automatik berasaskan juzuk pasang surut yang telah diperolehi.
- (ii) Membuat perbandingan antara hasil pegaturcaraan yang telah dibangunkan dengan hasil perisian sedia ada di mana telah digunakan oleh Universiti Teknologi Malaysia (UTM) dan Tentara Laut Diraja Malaysia (TLDM), serta melakukan analisis terhadap hasil perbandingan.

- (iii) Mempelajari variasi tempoh cerapan pasang surut, sehingga dapat menentukan tempoh minimum cerapan untuk menghasilkan juzuk-juzuk pasang surut yang optima bagi penentuan datum carta untuk keperluan pekerjaan hidrografi.

Rajah 1.2 di bawah, merupakan peralatan yang digunakan untuk mendapatkan cerapan pasang surut secara langsung atau pada masa hakiki.



**Rajah 1.2:** Peralatan yang digunakan semasa penyelidikan dijalankan

## **1.5      Kepentingan Kajian**

Antara kepentingan yang akan diperolehi daripada kajian ini adalah seperti berikut:

- (i) Pengaturcaraan komputer yang telah dibangunkan bagi perhitungan analisis dan ramalan pasang surut dapat menjadi pemangkin kepada penyelidikan pasang surut di Malaysia pada masa hadapan.
- (ii) Pengaturcaraan analisis dan ramalan pasang surut dapat bermanfaat bagi kepentingan akademik mahupun komersial, serta menjadi permulaan pembangunan perisian integrasi analisis daripada komponen-komponen oseanografi yang lain iaitu: gelombang, arus, angin dan sebagainya.

Dengan adanya pengaturcaraan tersebut dapat dijadikan asas pembangunan ramalan pasang surut masa hakiki menggunakan GPS-RTK.

## **BAB 2**

### **TEORI PASANG SURUT**

#### **2.1 Pendahuluan**

Laut adalah bahagian bumi selain daratan. Bila diamati dengan saksama permukaan air laut sentiasa bergerak secara dinamik, berubah-ubah, naik turun secara periodik. Perubahan inilah yang biasa disebut dengan Gejala Pasang Surut.

Oleh kerana kaitannya dengan laut, dari zaman dahulu manusia berusaha untuk mempelajari gejala pasang surut tersebut, bahkan ada yang sudah berusaha membuat ramalan pasang surut, walaupun kejituannya sangat terbatas kerana pengetahuan yang kurang mantap.

Pada generasi berikutnya, di mana manusia mulai mengetahui tentang hubungan yang erat antara pasang surut dengan pergerakan bulan dan matahari, maka usaha untuk lebih mendalami pengetahuan mengenai pasang surut, sehingga proses analisis dan pembuatan ramalan pasang surut semakin baik dan jitu.

Berasaskan penemuan tersebut, maka banyak aplikasi yang berkembang. Antaranya, meliputi keperluan navigasi, penentuan datum carta hidrografi, pembangunan pelabuhan, pembuatan penahan gelombang, pemasangan paip dasar laut, ketenteraan, penangkapan ikan, aktiviti marin dan sebagainya.

## **2.2 Definisi dan Fenomena Pasang Surut**

Sebelum menerangkan teori mengenai pasang surut, pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai definisi pasang surut dan fenomena pasang surut yang sangat penting bagi memberikan pengetahuan awal mengenai teori pasang surut.

### **2.2.1 Definisi Pasang Surut**

Terdapat pelbagai jenis definisi tentang pasang surut, yang hampir kesemuanya menjelaskan peristiwa naik dan turunnya suatu jisim. Adapun definisi pasang surut adalah peristiwa naik turunnya air laut disebabkan oleh pergerakan permukaan air laut dalam arah vertikal disertai gerakan horizontal jisim air akibat pengaruh daya tarik jasad-jasad angkasa, dan gejala ini mudah dilihat secara visual.

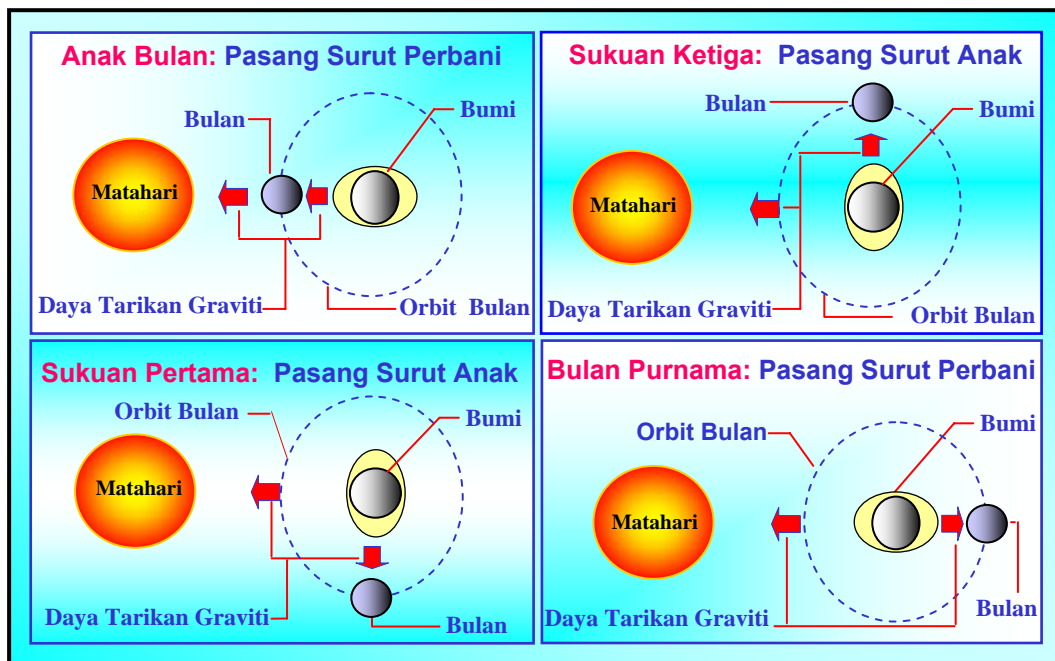
### **2.2.2 Fenomena Pasang Surut**

Berasaskan pada definisi pasang surut, di mana merupakan peristiwa naik-turunnya permukaan air laut kerana pengaruh daya tarik badan-badan cekerawala, maka apabila dipasang alat tolok ukur pasang surut di merata tempat di dunia, dan dilakukan

cerapan terhadapnya setiap satu jam, kemudian hasil cerapan ini digambarkan menjadi graf, akan diperolehi lengkungan berkala.

Pada graf tersebut akan menunjukkan terjadinya air tertinggi setiap 12 jam 25 minit, atau setengah hari siderius (*sidereal day*), sedang air terendah akan terjadi selepas 6 jam 12.5 minit daripada air pasang. Hal ini menjelaskan adanya kaitan yang kuat antara fenomena pasang surut dengan pergerakan bulan di langit. Dalam kes ini, selama 24 jam akan terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, atau disebut pasang surut separuh harian (*semi diurnal tide*). Di tempat lain juga terjadi fenomena lain iaitu, satu kali air pasang dan satu kali air surut, dan keadaan ini disebut pasang surut harian (*diurnal tide*).

Jika dilakukan cerapan pasang surut selama satu bulan dan cuba dihubungkan dengan pergerakan bulan, maka akan diperolehi julat terbesar. Julat tersebut merupakan nilai daripada beza air tertinggi dan air terendah yang terjadi ketika bulan purnama penuh, ianya disebut sebagai pasang surut perbani (*spring tide*), sedangkan julat terkecil daripadanya disebut pasang surut anak (*neap tide*).

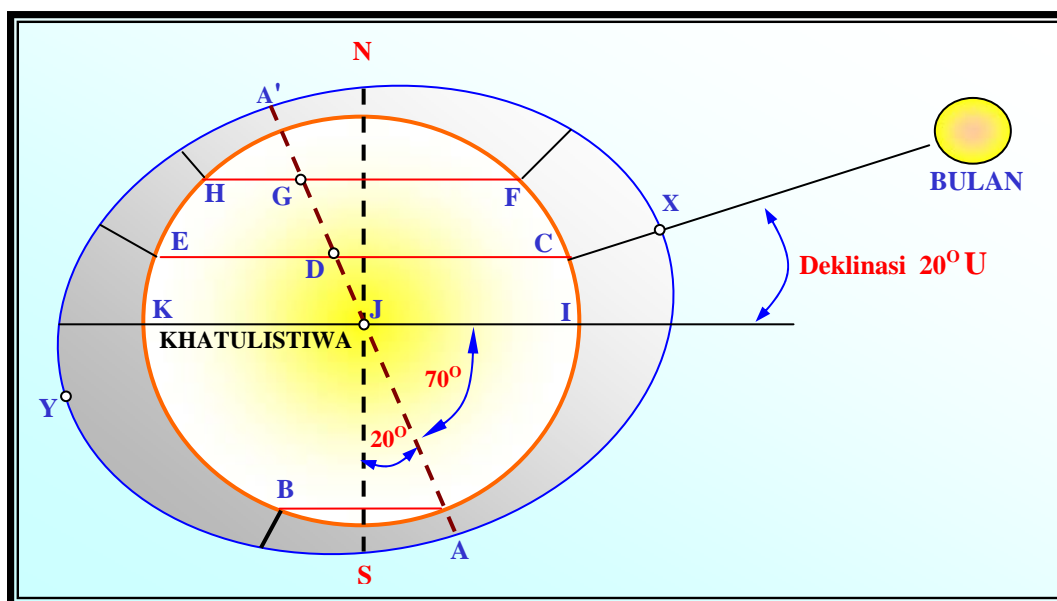


**Rajah 2.1** Proses terjadinya pasang surut akibat pengaruh pergerakan bulan mengelilingi bumi



Selain daripada keadaan di atas pada Rajah 2.2, jika dianggap bulan berada pada julat deklinasi  $20^\circ$  utara dan keterlambatan waktu antara tinggi air dengan saat bulan mencapai zenit diabaikan di mana, kajian hanya pada bumi bahagian utara, ketika air tertinggi, saat itu akan terjadi pada titik X dan Y, air terendah akan terjadi di titik A dan A'. Dengan demikian, titik-titik yang berada pada garis selari latitud  $20^\circ$  utara berturut-turut C air pasang maksimum, D air surut dan E air pasang tetapi pada masa ini air tidak lagi setinggi paras air di titik C. Sedangkan pada titik A dan A' yang berada pada latitud  $90^\circ$  air paling rendah. Pada titik D mengambil masa yang lebih panjang untuk surut dibandingkan semasa air naik, hal ini kerana titik D lebih dekat dengan titik E.

Di Khatulistiwa, pasang surut separuh harian adalah kekal, pada titik I adalah air pasang dan pada J meridian  $90^\circ$  adalah air surut. Pada titik K, dengan meridian  $180^\circ$  jauh daripada titik I, ialah pasang sekali lagi dan ketinggian adalah hampir sama seperti di titik I. Julat bagi pasang surut ini tidaklah sebesar julat semasa bulan berada pada deklinasi  $0^\circ$ . Pasang surut harian akan selalu lewat kebelakang kerana pasang surut menghasilkan daya akibat geseran dan inersia bagi air.



**Rajah 2.2** Pengaruh bulan pada deklinasi  $20^\circ$

### 2.3 Jenis-Jenis Pasang Surut

Seperti yang dijelaskan sebelum ini, keperluan navigasi dan perancangan pembangunan maritim memerlukan ramalan pasang surut, maka bagaimana ramalan itu dapat dibuat adalah suatu masalah yang harus diselesaikan. Bagi melakukan ramalan pasang surut, komponen-komponen pasang surut sangat diperlukan kerana daripadanya dapat ditentukan perhitungan paras pasang surut di mana data cerapan diukur pada suatu waktu. Di samping itu akan dihasilkan ramalan pasang surut di masa hadapan dari analisis pasang surut sebelumnya. Selanjutnya dari analisis pasang surut ini akan diperolehi informasi tentang jenis pasang surut.

Jenis-jenis pasang surut di setiap tempat dipermukaan bumi tidaklah sama, bergantung pada tempat di mana pasang surut tersebut terjadi. Hal ini disebabkan ketidaksamaan daya tarik bulan dan matahari. Perbandingan antara jumlah amplitud juzuk utama pasang surut harian dan separuh harian dinyatakan oleh angkatap *Form Number* ( $F$ ) seperti formula berikut ini (Pugh D.T., 1987):

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (2.1)$$

Dalam pembahagian jenis pasang surut, ada pelbagai kategori yang sering digunakan dalam menentukan jenis-jenis pasang surut, di antaranya iaitu:

- (i) Menurut Courtier (Andy Lazuardy, 1995) jenis pasang surut dibahagi menjadi empat, iaitu:
  1.  $0 < F \leq 0.25$  ..... pasang surut separuh harian.
  2.  $0.25 < F \leq 1.5$  .... pasang surut bercampur, separuh harian dominan.
  3.  $1.5 < F \leq 3.0$  ..... pasang surut bercampur, harian dominan.
  4.  $F > 3.0$  ..... pasang surut harian.

Pembahagian ini yang umumnya sering digunakan, dan dalam perkara ini JUPEM dan  $\mu$ -TAPS menggunakan kaedah ini.

(ii) Menurut *French Tidal Studies* (Dronkers J.J., 1975), jenis pasang surut dibahagikan kepada tiga, iaitu:

1.  $0 < F \leq 0.25$  ..... pasang surut separuh harian.
2.  $0.25 < F \leq 1.25$  ... pasang surut bercampur.
3.  $F > 1.25$  ..... pasang surut harian.

(iii) Menurut *The U.S. Coast and Geodetic Survey* (Dronkers J.J., 1975), jenis pasang surut dibahagikan kepada tiga dengan julat yang berbeza, iaitu:

1.  $0 < F \leq 0.5$  ..... pasang surut separuh harian.
2.  $0.5 < F \leq 2.0$  .... pasang surut bercampur.
3.  $F > 2.0$  ..... pasang surut harian.

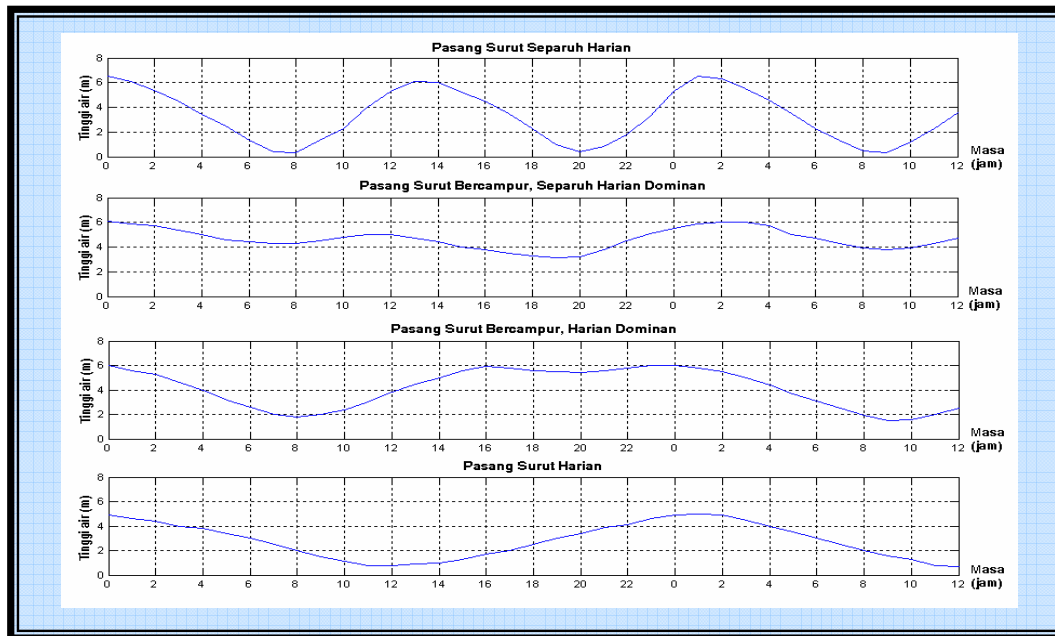
(iv) Menurut *Group Training Course In Hydrographic Services* (Hydrographic Department Japan, 1981) jenis pasang surut dibahagi menjadi:

1.  $F < 0.25$  ..... pasang surut separuh harian.
2.  $0.25 \leq F < 1.5$  .... pasang surut bercampur.
3.  $F > 1.5$  ..... pasang surut harian.

(v) Pembahagian jenis pasang surut yang digunakan oleh TLDM (Jadual Pasang Surut, 2005) adalah:

1.  $F \leq 0.5$  ..... pasang surut separuh harian.
2.  $F > 0.5$  ..... pasang surut harian.

Rajah 2.3 adalah visual daripada jenis-jenis pasang surut.



**Rajah 2.3** Jenis-jenis pasang surut

## 2.4 Datum Carta dan Aras-Aras Laut

Salah satu tujuan daripada analisis pasang surut adalah untuk menentukan datum carta dan aras-aras laut. Dengan ditemukan hubungan antara juzuk-juzuk utama, maka dapat diperolehi aras-aras laut dan datum carta. Bagi projek hidrografi dan kejuruteraan di sekitar kawasan pantai adalah sangat memerlukan informasi berkaitan dengan datum carta, sebagai rujukan pengukuran hidrografi.

### 2.4.1 Datum Carta

Penentuan datum carta merupakan perkara yang sangat asas dan sangat penting pada pengukuran batimetri. Datum carta digunakan dalam pemeruman sebagai rujukan

kedalaman titik-titik hasil pemeruman. Dengan adanya datum carta dapat ditetapkan nilai pembetulan kepada surutan bagi kedalaman hasil pemeruman. Dengan demikian dapat diperolehi gambaran tentang topografi dasar laut yang dapat digunakan untuk kepentingan pekerjaan kejuruteraan di laut.

Pengertian datum carta menurut *IHO Technical Resolution A5, para III* (1962) yang berbunyi seperti berikut : "Ditetapkan rujukan dari ramalan pasang surut sama dengan datum carta (rujukan dari pelarasan pemeruman) dan merupakan sebuah permukaan yang serendah mungkin, sehingga ketinggian pasang surut akan jarang sekali lebih rendah dari permukaan ini". Semasa menentukan datum carta, masalah pertama yang harus diselesaikan adalah penetapan aras laut min (MSL). Aras laut min merupakan permukaan laut purata atau satah permukaan laut di mana dianggapkan tidak ada pengaruh pasang surut serta lain-lain pengaruh seperti meteorologi dan oseanografi. Aras laut min diperolehi dari hasil perhitungan data cerapan pasang surut dalam tempoh masa panjang iaitu 18.6 tahun.

Penetapan datum carta perlu mengambil kira kedudukan air terendah yang mungkin terjadi di suatu kawasan kerana datum carta ini seharusnya tidak boleh lebih tinggi dari air terendah yang mungkin terjadi seperti yang didefinisikan oleh IHO. Permukaan rujukan ini ditetapkan berdasarkan nilai juzuk-juzuk pasang surut. Dengan demikian datum carta merupakan fungsi dari aras laut min dan juzuk-juzuk pasang surut. Setiap negara mendefinisikan sendiri datum cartanya berdasarkan juzuk-juzuk yang diperolehi dari analisis pasang surut. Ada pelbagai aturan yang ditetapkan oleh beberapa negara disesuaikan dengan keadaan dari negara masing-masing, misalnya:

(i) Perancis

Menggunakan air rendah terendah yang mungkin terjadi (*Lowest Possible Low Water*) sebagai datum carta. Untuk menentukannya digunakan formula pendekatan:

$$CD = So - 1.2(M_2 + S_2 + K_2) \quad (2.2)$$

di mana,

$So$  : aras laut min dengan lama cerapan 18.6 tahun

$M_2, S_2, K_2$  : amplitud dari juzuk pasang surut

(ii) Peta Admiralti Inggeris

Menggunakan permukaan air rendah pasang surut purnama, dengan formula:

$$CD = So - (M_2 + S_2) \quad (2.3)$$

di mana,

$So$  : aras laut min dengan lama cerapan 18.6 tahun

$M_2, S_2$  : amplitud dari juzuk pasang surut

(iii) *International Hydrographic Organization (IHO)*

Mendefinisikan datum carta sebagai berikut:

$$CD = So - \sum_{i=1}^n A_i \quad (2.4)$$

di mana,

$So$  : aras laut min dengan lama cerapan 18.6 tahun

$A_i$  : amplitud juzuk pasang surut

$n$  : jumlah juzuk pasang surut

(iv) *Indian Spring Low Water*

Datum carta yang disyorkan Sir George Darwin bagi perairan India.

$$CD = So - (M_2 + S_2 + K_1 + O_1) \quad (2.5)$$

di mana,

$S_o$  : aras laut min dengan lama cerapan 18.6 tahun

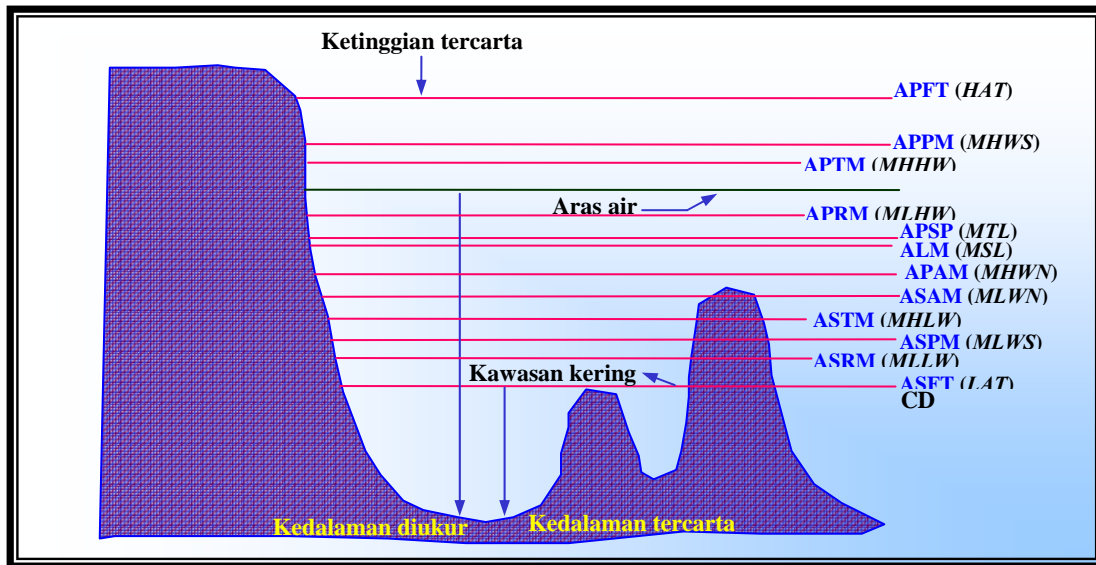
$M_2, S_2, K_1, O_1$  : amplitud utama juzuk pasang surut harian dan separuh harian

Tentera Laut Diraja Malaysia (TLDM) menggunakan aras *Lowest Astronomical Tide* (LAT) dan Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) menggunakan aras (*reference*) *Indian Spring Low Water* (ISLW) sebagai permukaan yang digunakan untuk datum carta. Datum carta digunakan pula untuk rujukan ramalan pasang surut, kerana menurut IHO rujukan untuk ramalan pasang surut ialah datum carta.

#### 2.4.2 Aras-Aras Laut

Selain daripada penentuan datum carta, perlu juga diketahui penentuan aras-aras lain yang juga penting untuk diperhatikan. Bila diperhatikan pada pembangunan pelabuhan, nilai surut falak terendah dan pasang falak tertinggi sangat diperlukan. Hal tersebut disebabkan pada peringkat mereka bentuk tinggi dermaga dan perlu tidaknya dilakukan pendalaman terhadap perairan disekitar pelabuhan.

Rajah 2.4 menunjukkan kedudukan aras-aras laut. Manakala Jadual 2.1 menerangkan aras-aras laut yang umum digunakan, Jadual 2.2 aras-aras laut yang berlaku pada pasang surut separuh harian dan Jadual 2.3 menunjukkan aras-aras laut untuk pasang surut harian. Seperti keterangan pada rajah dan jadual yang telah dibuat, dapat diperolehi maklumat yang jelas mengenai aras-aras pasang surut.



**Rajah 2.4 :** Aras-aras laut

**Jadual 2.1** Aras-aras laut yang berlaku secara umum

Singkatan	Nama penuh	Definisi	Formula
ASFT <i>LAT</i>	Air Surut Falak Terendah <i>Lowest Astronomical Tide</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aras terendah yang dapat diramalkan berlaku di bawah keadaan meteorologi biasa.</li> <li>– Hanya boleh dihitung dengan meramalkan aras pasang surut bagi tempoh 18.6 tahun.</li> </ul>	Nilai terendah dari ramalan pasang surut 18.6 tahun
APFT <i>HAT</i>	Air Pasang Falak Tertinggi <i>Highest Astronomical Tide</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aras tertinggi yang dapat diramalkan berlaku di bawah keadaan meteorologi biasa.</li> <li>– Hanya boleh dihitung dengan meramalkan aras pasang surut bagi tempoh 18.6 tahun.</li> </ul>	Nilai tertinggi dari ramalan pasang surut 18.6 tahun
ALM <i>MSL</i>	Aras Laut Min <i>Mean Sea Level</i>	Aras purata yang dicapai oleh air laut bagi satu tempoh masa 18.6 tahun.	$\frac{\sum_{i=1}^{i=18.6th} h_i}{18.6th}$
APSM <i>MTL</i>	Aras Pasang Surut Min <i>Mean Tide Level</i>	Aras purata bagi ketinggian air pasang dan surut bagi tempoh yang singkat	$\frac{\sum_{i=1}^{i=n} h_i}{n}$



**Jadual 2.2 :** Aras-aras laut yang berlaku bagi pasang surut harian

Singkatan	Nama Penuh	Definisi	Formula
ASRM <i>MLLW</i>	Air Surut Rendah Min <i>Mean Lower Low Water</i>	Purata terendah bagi kedua-dua air surut harian yang dialami dalam tempoh masa tertentu	$ASRM = Z_o - (M_2 + K_1 + O_1)$
ASTM <i>MHLW</i>	Air Surut Tinggi Min <i>Mean Higher Low Water</i>	Purata tertinggi bagi kedua-dua air surut harian yang dialami dalam tempoh masa tertentu	$ASTM = Z_o - \text{abs}(M_2 - (K_1 + O_1))$
APRM <i>MLHW</i>	Air Pasang Rendah Min <i>Mean Lower High Water</i>	Purata terendah bagi kedua-dua air pasang harian yang dialami dalam tempoh tertentu	$APRM = Z_o + \text{abs}(M_2 - (K_1 + O_1))$
APTM <i>MHHW</i>	Air Pasang Tinggi Min <i>Mean Higher High Water</i>	Purata tertinggi bagi kedua-dua air pasang harian yang dialami dalam tempoh tertentu	$APTM = Z_o + (M_2 + K_1 + O_1)$

**Jadual 2.3 :** Aras-aras laut yang berlaku bagi pasang surut setengah harian

Singkatan	Nama Penuh	Definisi	Formula
ASPM <i>MLWS</i>	Air Surut Perbani Min <i>Mean Low Water Springs</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Purata ketinggian bagi 2 kali air surut berturutan dalam tempoh 24 jam di mana julatnya adalah maksimum</li> <li>– Juga berlaku ketika bulan berada di fasa penuh atau fasa baru</li> </ul>	$ASPM = Z_o - (M_2 + S_2)$
ASAM <i>MLWN</i>	Air Surut Anak Min <i>Mean Low Water Neaps</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Purata ketinggian bagi 2 kali air surut berturutan dalam tempoh 24 jam di mana julatnya adalah minimum</li> <li>– Juga berlaku ketika bulan berada di sukuan pertama dan akhir</li> </ul>	$ASAM = Z_o - \text{abs}(M_2 - S_2)$
APAM <i>MHWN</i>	Air Pasang Anak Min <i>Mean High Water Neaps</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Purata ketinggian bagi 2 kali air pasang berturutan dalam tempoh 24 jam di mana julatnya adalah minimum</li> <li>– Berlaku ketika bulan berada di sukuan pertama dan akhir</li> </ul>	$APAM = Z_o + \text{abs}(M_2 - S_2)$
APPM <i>MHWS</i>	Air Pasang Perbani Min <i>Mean High Water Springs</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Purata ketinggian bagi 2 kali air pasang berturutan dalam tempoh 24 jam di mana julatnya adalah maksimum</li> <li>– Berlaku ketika bulan berada di fasa penuh atau fasa baru</li> </ul>	$APPM = Z_o + (M_2 + S_2)$

## 2.5 Kaedah Analisis Harmonik

Kaedah analisis harmonik merupakan teknik perhitungan yang sangat sesuai untuk menggambarkan lengkungan dari data-data cerapan pasang surut. Data cerapan pasang surut akan disusun menjadi aturan fungsi sinus atau kosinus dari suatu fungsi harmonik. Pasang surut dipengaruhi oleh daya-daya periodik, sehinggalah pasang surut dapat digambarkan sebagai persamaan harmonik. Formula yang digunakan adalah sebagai berikut (Dronkers J.J., 1975):

$$h(t) = Z_o + \sum_{r=1}^k f_r H_r \cos((Vg_r + \mu_r) + \omega_r t_r - g_r) \quad (2.6)$$

$Vg$  adalah parameter pasang surut keseimbangan di Greenwich, sedangkan  $\mu$  dan  $f$  adalah faktor astronomi yang biasa disebut perhitungan nod. Dengan mengabaikan faktor meteorologi dan astronomi ( $Vg$ ,  $\mu$ ,  $f$ ), ketinggian pasang surut dapat dinyatakan dengan suatu aturan fungsi harmonik untuk sejumlah  $k$  juzuk pasang surut seperti persamaan berikut:

$$h(t_n) = Z_o + \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r t_n + \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r t_n \quad (2.7)$$

di mana,

$h(t_n)$  = ketinggian pasang surut merupakan fungsi dari waktu.

$Z_o$  = aras laut min

$k$  = jumlah juzuk pasang surut

$t_n$  = waktu cerapan setiap jam  $(-n, -n+1, \dots, 0, \dots, n-1, n)$

$t_o$  merupakan waktu tengah-tengah cerapan.

Salah satu kaedah analisis harmonik ialah menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil. Dengan menggunakan kaedah ini, masalah sela waktu cerapan tidak menjadi masalah lagi dan dapat dihasilkan amplitud dan fasa dari semua juzuk harmonik

yang diinginkan. Dengan adanya komputer, kaedah ini sangat sesuai dibangunkan kerana hitungannya menggunakan data yang banyak. Data ketinggian pasang surut hasil cerapan akan mendekati nilai ketinggian pasang surut sebenar bila:

$$\mu^2 = \sum_{m=-n}^n (h_t - \hat{h}_t)^2 = \text{minimum} \quad (2.8)$$

Ini merupakan asas kepada kaedah pelarasan kuasa dua terkecil. Keadaan yang memenuhi fungsi  $\mu^2$  minimum adalah:

$$\frac{\delta\mu^2}{\delta Z_o} = 0; \frac{\delta\mu^2}{\delta A_r} = 0; \frac{\delta\mu^2}{\delta B_r} = 0; r = 1, \dots, k \quad (2.9)$$

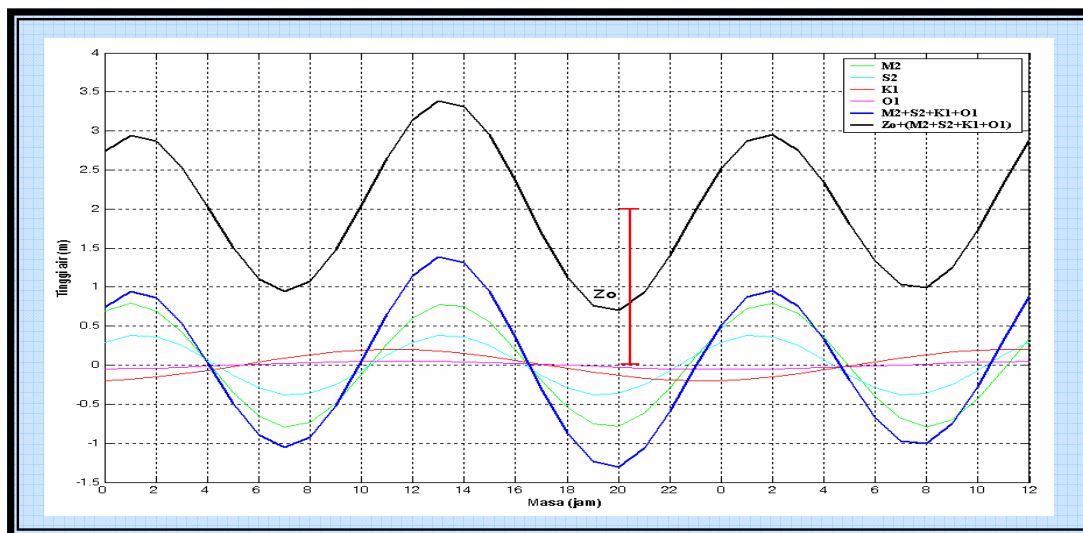
Dari persamaan di atas menghasilkan  $2k + 1$  persamaan untuk mendapatkan  $Z_o$ ,  $A_r$ ,  $B_r$  yang merupakan aras laut min dan jujuk-jujuk pasang surut. Selain daripada parameter tersebut, perlu juga dihitung faktor astronomi yang akan dikaji secara mendalam dalam Bab 3. Kelebihan kaedah harmonik menggunakan kaedah pelarasan kuasa dua terkecil dibanding dengan kaedah lain adalah sebagai berikut:

- (i) Data dengan tempoh cerapan yang panjang boleh dihitung, di mana semakin panjang data cerapan jujuk yang dihasilkan semakin banyak dan teliti.
- (ii) Kaedah ini masih memungkinkan untuk melakukan perhitungan data, bila terjadi *missing data* ketika melakukan cerapan.
- (iii) Kaedah ini juga tidak mengharuskan sela yang sama untuk data cerapan, akan tetapi jika data semakin rapat maka graf lengkungan yang dihasilkan akan semakin mendekati keadaan sebenar.
- (iv) Setiap jujuk-jujuk yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan kaedah ini dapat diketahui kejituannya.

Dengan memerhatikan kelebihan kaedah harmonik menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil tersebut, maka kaedah ini sangatlah tepat digunakan dalam pembangunan pengaturcaraan analisis dan ramalan pasang surut pada penelitian ini. Selanjutnya kaedah tersebut akan dikaji secara terperinci pada Bab 3.

## 2.6 Ramalan Pasang Surut

Perhitungan ramalan pasang surut dilakukan dengan cara membalik pola perhitungan dari analisis pasang surut. Parameter yang dihasilkan dari perhitungan analisis harmonik digunakan untuk meramalkan pasang surut dimasa hadapan. Parameter yang digunakan meliputi: aras laut min, halaju, amplitud dan fasa dari setiap juzuk pasang surut. Merujuk kepada Rajah 2.5, bila parameter setiap juzuk telah diketahui maka graf gelombang dari setiap juzuk dapat digambarkan, hasil penjumlahan nilai gelombang-gelombang juzuk tersebut merupakan graf tinggi air pasang surut yang diramalkan.



**Rajah 2.5** Gelombang harmonik pembentuk gelombang pasang surut

Bagi memperolehi hasil ramalan yang lebih baik, maka perlu dihitung nilai-nilai  $f_r$ ,  $Vg_r$ ,  $\mu_r$  sebagai nilai pembetulan terhadap amplitud dan fasa. Parameter tersebut

dihitung berdasarkan tahun dari ramalan pasang surut yang akan dibuat. Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$h(t) = Z_0 + \sum_{r=1}^k f_r H_r \cos((Vg_r + \mu_r) + \omega_r t_r - g_r) \quad (2.10)$$

di mana keterangan dari formula tersebut sesuai dengan keterangan pada analisis harmonik pada sub bab di atas.

## **2.7 Sistem Bumi, Bulan dan Matahari**

Faktor dominan yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya pasang surut adalah pergerakan bulan dan matahari. Perhitungan nilai daripada pengaruh daya tariknya dapat diambil kira secara matematik. Dalam sub bab ini telah dianggarkan kesan yang ditimbulkan daripada kedua jasad tersebut.

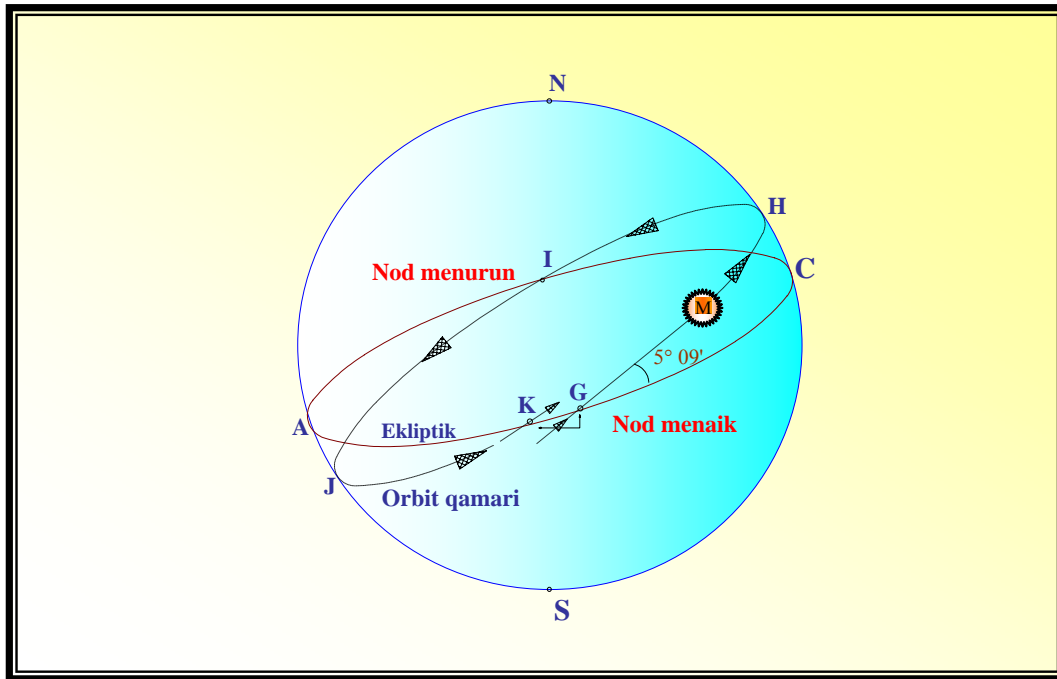
### **2.7.1 Pergerakan Bulan**

Bulan bergerak mengelilingi bumi ke arah timur seperti matahari mengelilingi bumi. Seperti ditunjukkan oleh Rajah 2.6 di atas lintasan AKGCI adalah lintasan ekliptik sedangkan GHIJK adalah lintasan orbit bulan (orbit qamari). Lintasan bulan membentuk sudut antara  $5^{\circ} 0'$  hingga  $5^{\circ} 17.5'$ . Jarak bulan ke bumi lebih dekat bila dibandingkan dengan jarak matahari ke bumi, sehingga waktu yang diperlukan bulan untuk mengelilingi bumi relatif lebih cepat.

Titik-titik di mana orbit bulan yang memotong ekliptik disebut nod, titik yang memotong di titik I disebut nod menurun dan titik yang memotong di antara K dan G disebut nod menaik. Waktu yang diperlukan dari nod menaik G ke arah barat sampai dengan nod menaik K adalah 27.2122 hari suria min dikenal dengan tempoh drakonik (*draconitic period*), dan diukur dari bintang tertentu memerlukan waktu tempoh 27.3216 hari suria min yang dikenal dengan tempoh siderius (*siderial period*).

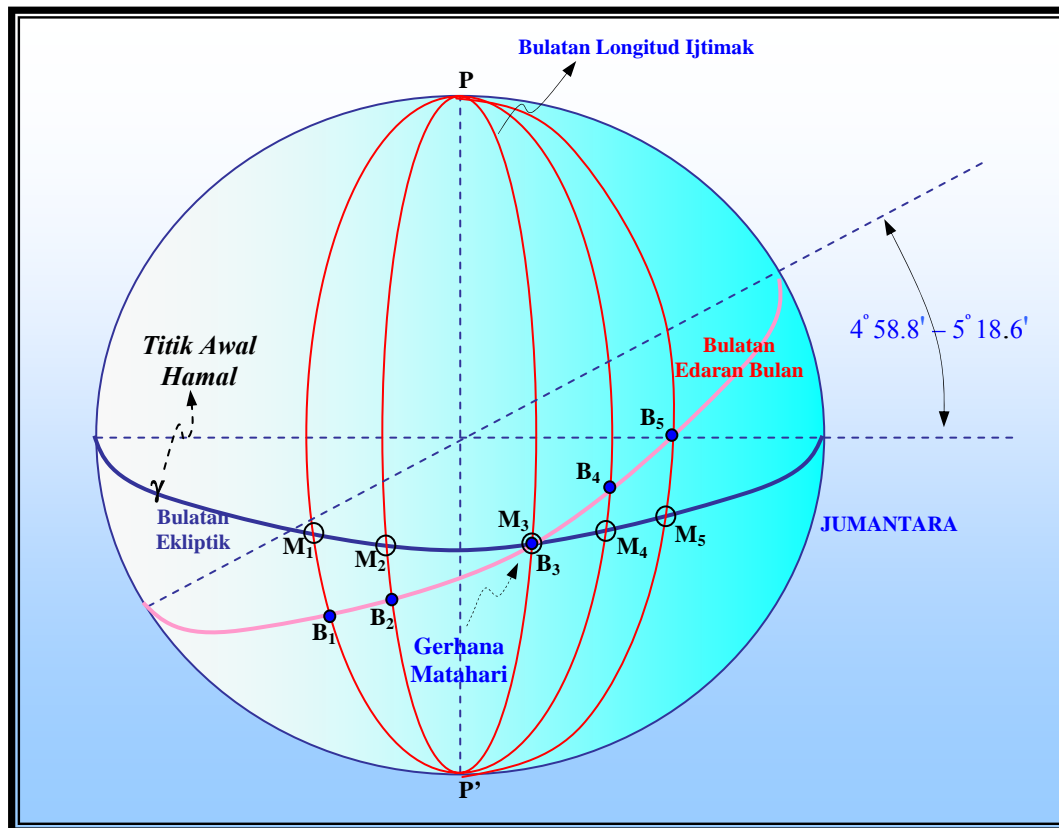
Pergeseran ke arah barat sepanjang garis KG disebut pengunduran nod, dengan tempoh waktu yang diperlukan ialah 18.6 tahun. Orbit bulan mengelilingi bumi juga berbentuk elips, seperti pergerakan matahari, bulan akan mencapai jarak terjauh dengan bumi titik ini disebut apogi dan jarak terdekat dengan bumi disebut perigee. Waktu tempoh satu pusingan adalah 27.5546 hari atau biasa disebut tempoh anomali.

Kecondongan orbit bulan terhadap ekliptik mencapai maksimum  $23^{\circ} 27' + 5^{\circ} 09' = 28^{\circ} 36'$  dan minimum pada  $23^{\circ} 27' - 5^{\circ} 09' = 18^{\circ} 18'$ . Range kecondongan maksimum dan minimum ini akan ditempo oleh bulan selama 18.6 tahun. Pergerakan bulan melintasi meridian satu titik pencerap dipermukaan bumi mengambil masa 24 jam 50 minit. Bila bulan beredar diorbitnya sebanyak dua kali, dan menghasilkan dua kali bulan purnama memerlukan waktu 29.5306 hari suria min yang disebut kala sinodik dan bulan qamari.



**Rajah 2.6:** Pergerakan bulan

Rajah 2.7 menunjukkan jumantera dengan bulatan ekliptik (gerakan orbit matahari) dan bulatan tempuhan bulan (gerakan orbit bulan). Satah orbit matahari tidak berada dalam keadaan sesatah dengan satah orbit bulan. Kedua-dua bulatan, ekliptik dan endaran bulan memotong sesama sendiri dengan sudut antara  $4^{\circ} 58.8'$  hingga  $5^{\circ} 18.6'$ . Dengan keadaan begini bulan kadangkala berada di sebelah atas ekliptik, ada ketikanya ia berada tepat di atas ekliptik sendiri, dan ada kalanya ia berada di bawah ekliptik, keadaan seperti itu dapat digambarkan sebagaimana Rajah 2.7 berikut ini:



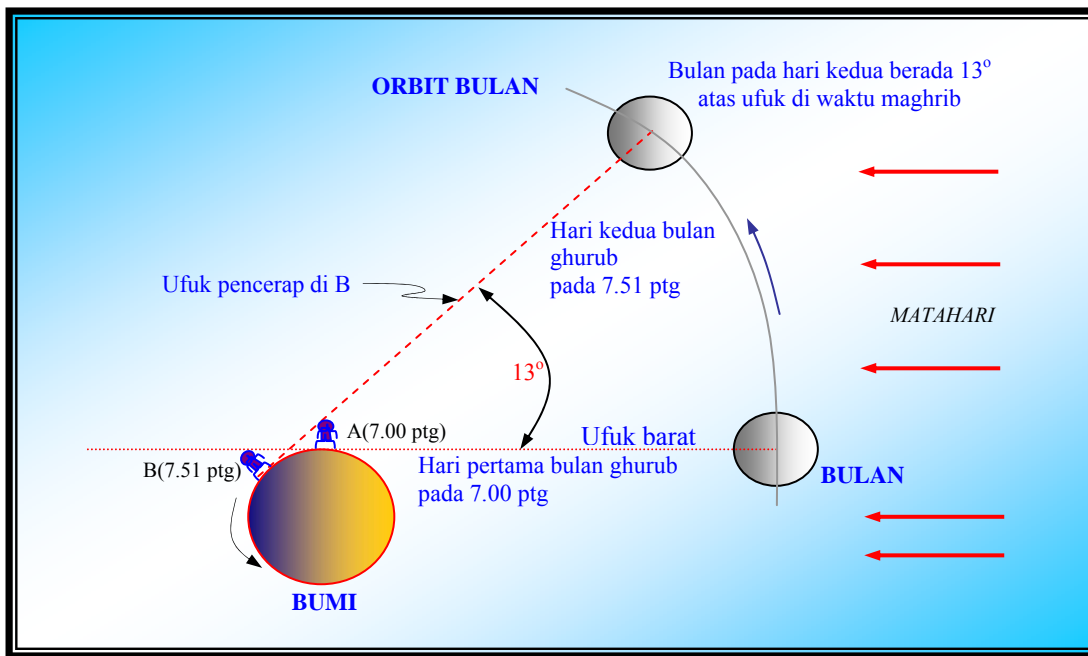
**Rajah 2.7:** Deklinasi orbit bulan dengan ekliptik

Jika diperhatikan dalam beberapa malam berturut-turut, kedudukan bulan pada waktu matahari terbenam, ketika permulaan pusingan bulanannya (*cycle of monthly revolution*), bulan berada rendah di ufuk untuk beberapa beberapa minit sahaja sebelum bulan sendiri terbenam. Hari berikutnya, pada waktu yang sama, iaitu pada saat matahari terbenam, bulan berada di kedudukan yang lebih tinggi, dan seterusnya semakin hari semakin tinggi lagi diatas langit. Setiap hari bulan kelihatan semakin jauh dari ufuk barat, dan sampai pada suatu ketika ianya mulai terbit di ufuk timur pada waktu matahari terbenam di ufuk barat, iaitu pada masa fasa bulan purnama.

Ini terbukti bahawa, bulan bergerak mengikuti arah dari barat ke timur dalam edaran bulanannya. Secara umum kitaran gerakan bulanan, setiap hari meningkat lebih kurang 13 darjah dan ianya terbit dan terbenam dalam lingkungan 51 minit lebih lewat setiap hari. Jika pada hari pertama dalam edaran bulannya, bulan berada tepat di atas ufuk barat di waktu matahari terbenam, maka pada hari yang kedua pada waktu yang



sama (waktu matahari terbenam), bulan berkedudukan lebih kurang lewat 13 darjah di atas ufuk barat dan hanya terbenam 51 minit lewat dari terbenamnya matahari. Dari kenyataan ini bulan terbit dan terbenam 51 minit lewat dari waktu terbenamnya matahari. Hal tersebut dapat diungkapkan melalui Rajah 2.8 berikut:



**Rajah 2.8 :** Keterlambatan 51 minit terbenamnya bulan dibandingkan matahari

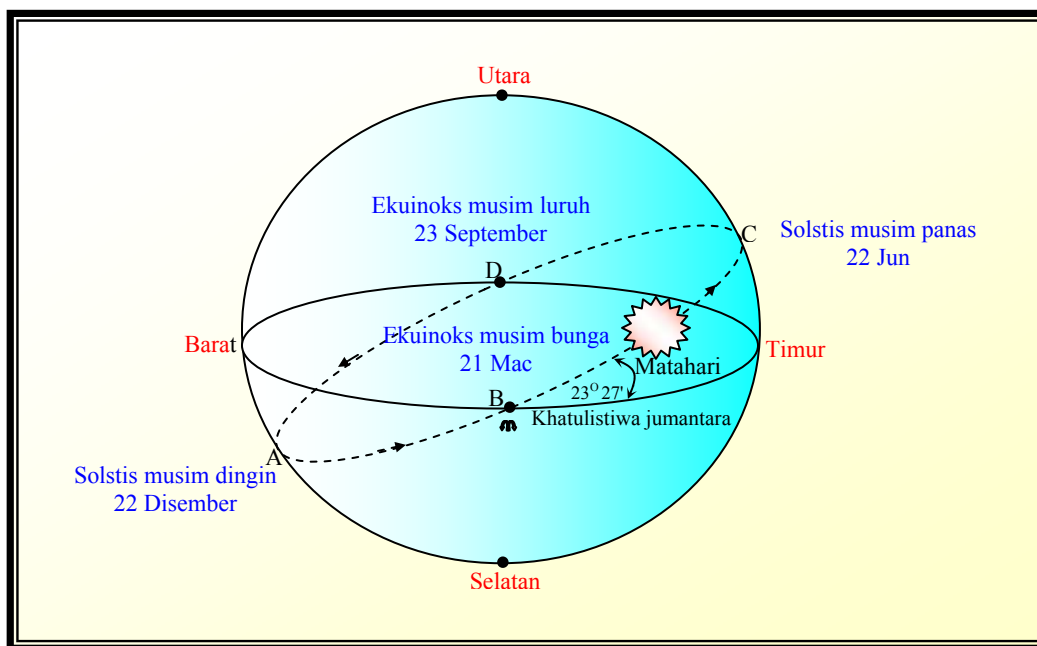
### 2.7.2 Pergerakan Matahari

Matahari bergerak ke arah timur mengelilingi bumi sepanjang garis orbit tahunan yang disebut ekliptik. Lintasan ABCD pada Rajah 2.9 membentuk sudut  $23^{\circ} 27'$  dengan khatulistiwa jumantera. Persilangan antara garis orbit tahunan dengan khatulistiwa jumantera di titik B disebut ekuinoks musim bunga, dan  $180^{\circ}$  bertentangan iaitu titik D disebut ekuinoks musim luruh.

Matahari mengelilingi bumi dengan lintasan elips di mana, bumi sebagai pusat, sehingga dalam peredarannya akan melalui titik terdekat dengan bumi yang disebut titik perihelion, dan titik terjauh iaitu afelion.

Matahari beredar pada lintasanya dalam jangka masa 365.2442 hari. Selama waktu tersebut, ia melintasi titik-titik perihelion dan afelion serta mencapai deklinasi utara maksimum di titik C dan selatan maksimum di titik A. Matahari berada pada titik ekuinoks musim bunga pada tanggal 21 Mac, selanjutnya bergerak secara berurutan melalui titik solstis musim panas 22 Jun, titik ekuinoks musim luruh 23 September, titik solstis musim luruh tanggal 22 Disember dan terakhir kembali pada ekuinoks musim bunga setelah berpusing selama 365.2442 hari.

Perlu diketahui bahawa gerakan matahari memotong khatulistiwa jumanantara pada titik ekuinoks musim bunga tidak selalu tepat pada titik tersebut setiap tahun. Posisi titik ekuinoks musim bunga begeser ke arah barat sepanjang garis khatulistiwa jumanantara selama tempoh waktu 26,000 tahun. Gerakan ini disebut liukan ekuinoks.



**Rajah 2.9:** Pergerakan matahari

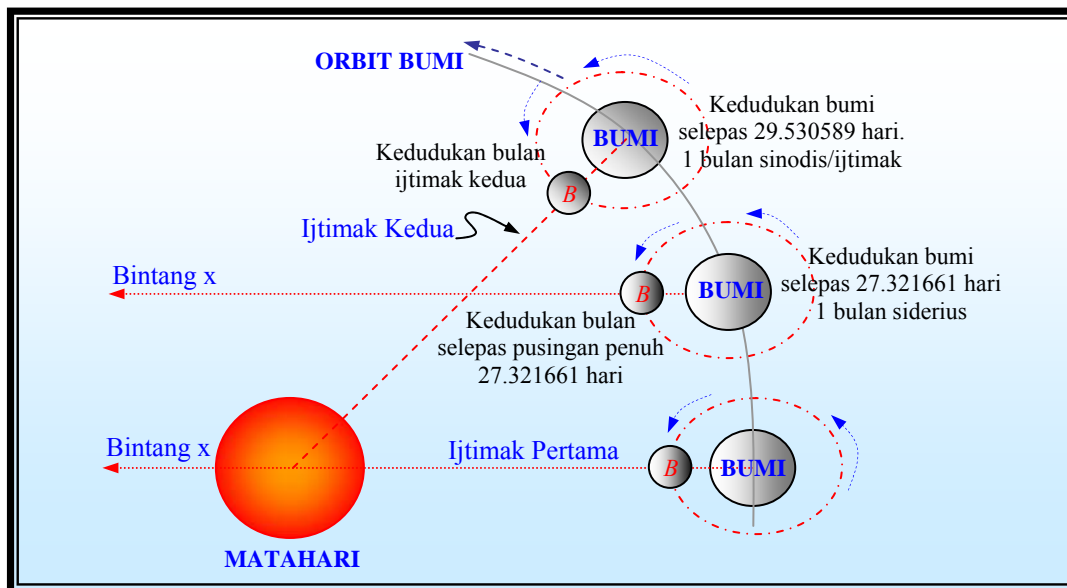
## 2.8 Bulan Siderius dan Bulan Sinodis

Matahari menempuh satu pusingan dalam orbitnya yang penuh di atas ekliptik dalam masa satu tahun siderius, iaitu 365.256360 hari. Bulan pula bagi orbitnya yang penuh mengelilingi bumi ( $360^\circ$ ) menempuhi 27.321661 hari, iaitu dalam masa satu bulan siderius. Oleh itu dalam satu hari, arka yang ditempuhi oleh bulan adalah:

$$\frac{360^\circ}{27.321661} = 13.176358^\circ, \text{ matahari pula menempuh: } \frac{360^\circ}{365.25630} = 0.985609^\circ$$

Hari arka yang ditempuhi oleh bulan ialah:  $13.176358^\circ - 0.985609^\circ = 12.190749^\circ$

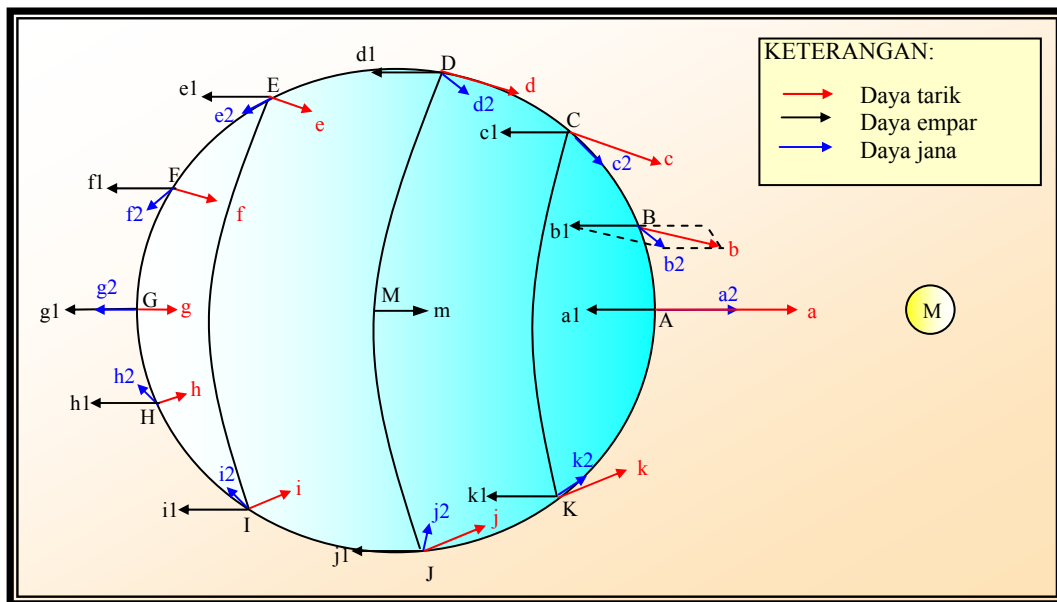
Tempoh masa ini ialah masa yang berlaku antara dua ijtimak yang berturutan dan dipanggil satu bulan sinodis atau bulan ijtimak sesuai Rajah 2.10. Pergerakan bulan bukan sahaja dipengaruhi oleh bumi dan matahari, tetapi juga oleh planet-planet. Oleh kerana itu, mengikut keadaan yang sebenar tempoh masa antara dua ijtimak yang berturutan tidak pernah tepat 29.530589 hari, ada kalanya lebih ada kalanya kurang juga.



**Rajah 2.10:** Bulan siderius dan bulan ijtimak

## 2.9 Daya-Daya Pasang Surut

Sebelum memahami daya jana pasang surut, perlu diketahui bahawa ada tiga daya yang mempengaruhi permukaan bumi, di mana menghasilkan peristiwa pasang surut iaitu: daya tarik graviti (*gravitational force*), daya empar (*centrifugal force*) dan daya jana pasang surut (*tide generating force*) seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.11. Ini bererti daya jana pasang surut merupakan daya paduan (*resultant force*) dari penjumlahan daya tarik graviti dan daya empar.

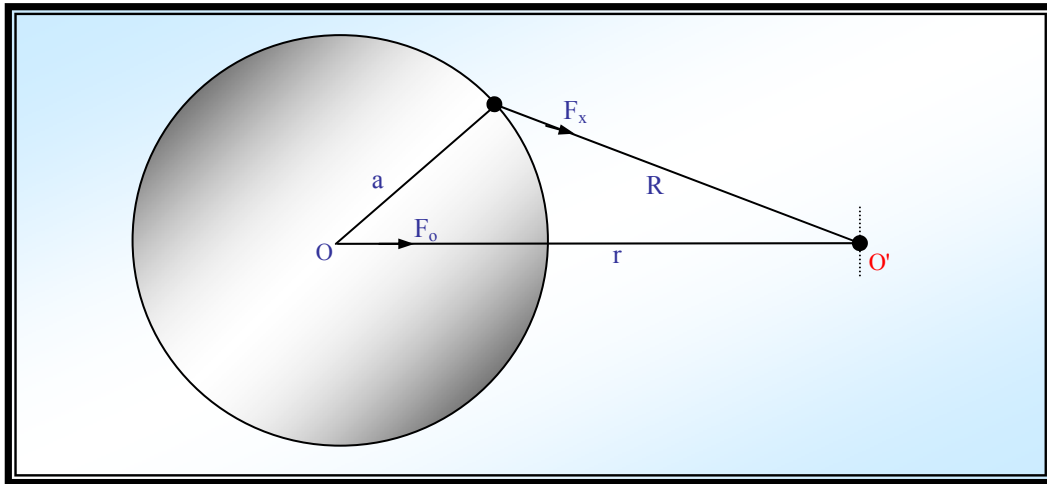


**Rajah 2.11:** Daya jana pasang surut

## 2.10 Daya Jana Pasang Surut

Pada asasnya, partikel yang mempunyai jisim di permukaan bumi selalu menerima dua jenis daya, iaitu:

- (i) Daya graviti badan cakerawala yang besarnya berbeza (matahari dan bulan).
  - (ii) Daya empur dari sistem bersama matahari dan bulan yang besarnya sama.
- Beza dari kedua-dua daya tersebut menghasilkan pasang surut air laut, ini biasa disebut daya jana pasang surut.



**Rajah 2.12 :** Daya satu partikel di permukaan bumi

Menurut hukum graviti Newton, bahawa daya tarik antara dua benda yang setiapnya berjisim  $m_1$  dan  $m_2$  dan berjarak  $r$ , adalah sebagai berikut:

$$F_t = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.11)$$

di mana,

$F_t$  = daya tarik

$G$  = pemalar daya tarik (nilai  $6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2} = 6.67 \times 10^{-8} \text{ dyne.cm}^2.\text{gr}^{-2}$ )

$m_1, m_2$  = jisim 1 dan 2

$r$  = jarak antara jisim 1 dan jisim 2

Jika bumi memiliki jejari  $a$  dan jisim bumi  $m_e$  serta dianggap bahawa jisim berfokus pada pusat bumi seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.12, maka daya satu partikel ( $F_t$ ) pada permukaan adalah:

$$F_t = G \frac{m_e}{a^2}$$

Oleh kerana, daya tarik bumi pada partikel satu satuan jisim di permukaan bumi sama dengan berat partikel itu sendiri, di mana merupakan hasil pendaraban jisim dengan nilai graviti ( $g$ ), maka:

$$F_t = g.m = g.1 = g$$

sehingga,

$$\begin{aligned} F_t = g &= G \frac{m_e}{a^2} \\ G &= g \frac{a^2}{m_e} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Merujuk kepada Rajah 2.12, misalkan O dan O' adalah pusat bumi dan bulan, di mana X adalah suatu titik di permukaan bumi. Jika  $m_m$  adalah jisim bulan dan  $r$  jarak antara pusat bumi ke pusat bulan, maka daya tarik bulan pada satu satuan jisim di pusat bumi adalah:

$$F_o = G \frac{m_m}{r^2} \quad (2.13)$$

Sedangkan daya tarik bulan pada satu satuan jisim di permukaan bumi (X) adalah:

$$F_x = G \frac{m_m}{R^2} \quad (2.14)$$

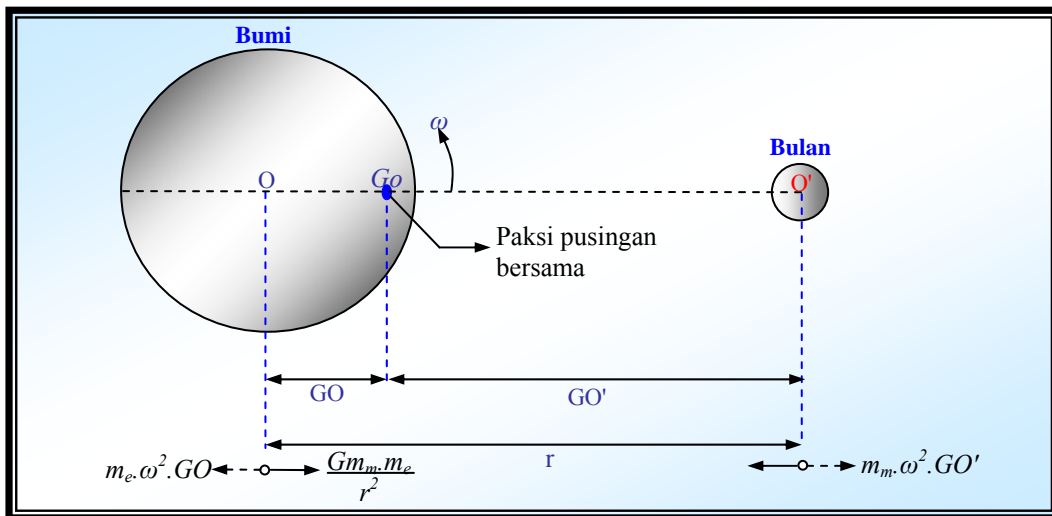
Jika persamaan (2.12) dimasukkan pada persamaan (2.13) dan (2.14), akan menjadi:

$$F_o = g \frac{m_m \cdot a^2}{m_e \cdot r^2} = g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^2 \quad (2.15)$$

$$Fx = g \frac{m_m \cdot a^2}{m_e \cdot R^2} = g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{R} \right)^2 \quad (2.16)$$

Selanjutnya adalah penerangan untuk sistem bersama bumi dan bulan. Bagi memudahkan perhitungan, dimisalkan bahawa sistem bumi dan bulan memiliki pusat graviti yang sama, di mana terletak pada garis OO' sebagaimana dilihat pada Rajah 2.13, sehingga berlaku:

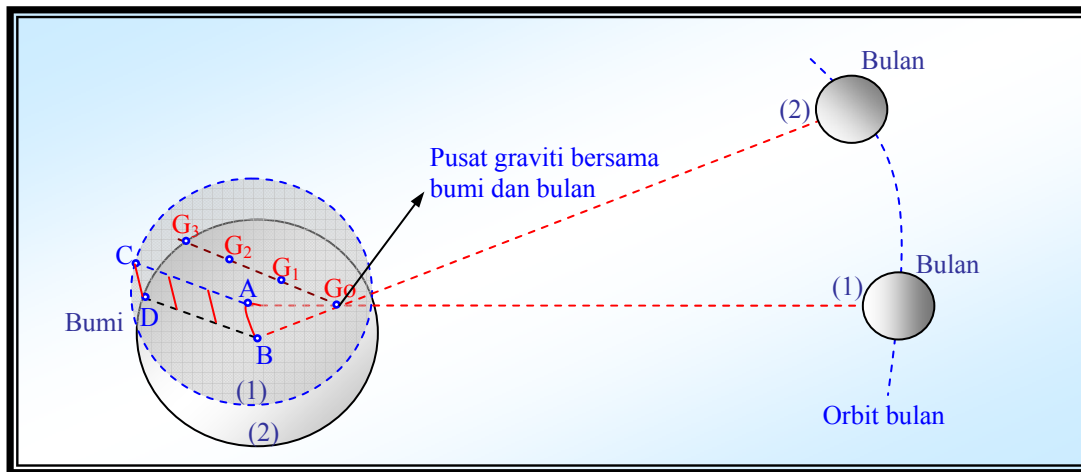
$GO + GO' = r$ , dan  $\frac{GO}{GO'} = \frac{m_m}{m_e}$ , Go adalah pusat graviti bersama bumi dan bulan.



**Rajah 2.13:** Pusat graviti bersama antara bumi dan bulan

Oleh kerana jarak antara pusat bumi dan bulan  $r$  adalah sekitaran 60 kali jejari bumi, dan jisim bumi adalah sekitaran 82 kali jisim bulan, dapat dikira bahawa jarak  $GO$  adalah:

$$GO = \frac{60}{82}a \approx \frac{3}{4}a, \text{ maka titik } Go \text{ terletak } \frac{3}{4}a \text{ daripada pusat bumi.}$$



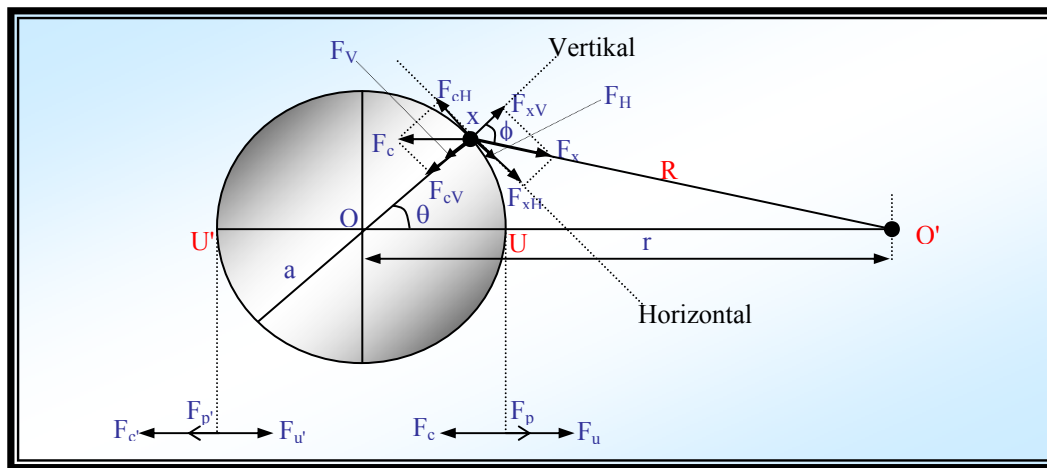
**Rajah 2.14:** Gerakan bumi dan bulan pada pusat graviti bersama

Merujuk pada Rajah 2.14, bumi berpindah dari (1) ke (2), ketika bulan juga berpindah dari (1) ke (2). Pada pergerakan ini pusat bumi akan bergerak melalui busur AB dengan pusat lingkaran di  $Go$  dan jejari  $AG$ . Dengan demikian pada gerakan yang sama, maka pada kedudukan (2) garis AC akan berhimpit di garis BD. Ini bererti bahawa daya empar (*centrifugal force*) pada setiap titik di permukaan bumi, yang disebabkan oleh pusingan bumi dan bulan disekitaran titik  $Go$  adalah sama besar. Daya empar ( $F_c$ ) di setiap permukaan bumi sama nilainya dengan daya tarik bulan di pusat bumi ( $F_o$ ), sehingga setiap titik di bumi berlaku:

$$F_c = F_o = g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^2 \quad (2.17)$$



Jika daya empar di setiap titik di permukaan bumi sama dengan daya tarik bulan pada pusat bumi, sedangkan daya tarik bulan disetiap permukaan bumi berbeza-beza nilainya, maka selisih (*resultant*) daya antara keduanya akan menyebabkan terjadinya pasang surut, daya ini yang kemudian disebut sebagai daya jana pasang surut. Selanjutnya untuk menghuraikan daya-daya tersebut bekerja sehingga menghasilkan daya jana pasang surut, dapat dijelaskan pada Rajah 2.15 berikut ini:



**Rajah 2.15 :** Komponen vertikal dan horizontal daya jana pasang surut

Parameter bagi perhitungan ini dapat diperolehi daripada Jadual 2.4 berikut ini:

**Jadual 2.4:** Parameter bumi, bulan dan matahari

	Parameter	Nilai	Simbol
Bulan:	Jisim	$7.35 \times 10^{22}$ kg	$m_m$
	Jejari purata	1738 km	
	Jarak purata dari bumi	384400 km (60.3 kali jejari bumi)	
Bumi:	Jisim	$5.97 \times 10^{24}$ kg (81.3 jisim bulan)	$m_e$
	Bulatan jejari	6378 km	$a$

Jarak purata dari matahari	149600000 km (23460 jejari bumi)	
Jarak purata pusat bumi-pusat bulan	4671 km	$r$
Matahari:		
Jisim	$1.99 \times 10^{30}$ kg (332946 jisim bumi)	$m_s$
Jejari	696000 km	

### Komponen vertikal:

$$\begin{aligned} F_V &= F_{xV} + F_{cV} \\ F_V &= F_x \cos \phi + F_c \cos \theta \end{aligned} \quad (2.18)$$

### Komponen Horizontal:

$$\begin{aligned} F_H &= F_{xH} + F_{cH} \\ F_H &= F_x \sin \phi + F_c \sin \theta \end{aligned} \quad (2.19)$$

Bila,

$$\sin \phi = \sin(180^\circ - \phi) = \sin(OXO') = \frac{r}{R} \sin \theta \quad (2.20)$$

$$\cos \phi = \left(1 - \sin^2(OXO')\right)^{1/2} = \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \sin^2 \theta\right)^{1/2} \quad (2.21)$$

dan,

$$\begin{aligned} R^2 &= r^2 + a^2 - 2ar \cos \theta \\ R^2 &= r^2 \left[ 1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2 - 2\frac{a}{r} \cos \theta \right] \end{aligned}$$

sehingga,

$$R = r \left[ 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.22)$$

masukkan persamaan (2.22) ke dalam persamaan (2.20) dan (2.21), maka akan dihasilkan:

$$\sin \phi = \frac{\sin \theta}{\left[ 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} \cos \phi &= \left[ 1 - \frac{\sin^2 \theta}{1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{\left[ \left( 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right)^{\frac{1}{2}} - (1 - \cos^2 \theta) \right]^{\frac{1}{2}}}{\left[ 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{\left[ \cos^2 \theta - 2 \frac{a}{r} \cos \theta + \left( \frac{a}{r} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\left[ 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{\cos \theta - \frac{a}{r}}{\left[ 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (2.24)$$

**Komponen vertikal**

$$\begin{aligned}
F_V &= F_x \left( \frac{\cos \theta - \frac{a}{r}}{1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta} \right) + F_c \cos \theta \\
&= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{R} \right)^2 \left( \frac{\cos \theta - \frac{a}{r}}{\left[ 1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{1/2}} \right) + F_c \cos \theta \\
&= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^2 \left( \left( \frac{\cos \theta - \frac{a}{r}}{\left[ 1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{3/2}} \right) - \cos \theta \right) \quad (2.25)
\end{aligned}$$

**Komponen horizontal**

$$\begin{aligned}
F_H &= F_x \left( \frac{\sin \theta}{\left[ 1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{1/2}} \right) - F_c \sin \theta \\
&= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{r}{R} \right)^2 \left( \frac{\sin \theta}{\left[ 1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{1/2}} \right) - g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^2 \sin \theta \\
&= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^2 \left( \frac{\sin \theta}{\left[ 1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{3/2}} \right) - \sin \theta \quad (2.26)
\end{aligned}$$

Apabila faktor penyebut dari persamaan di atas iaitu:

$$\left[ 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{-3/2}$$

kerana  $\frac{a}{r}$  sangat kecil ( $\approx \frac{1}{60}$ ), faktor tersebut dapat dianggarkan dengan aturan binomial, sehingga ianya menjadi sebagai berikut:

$$\left[ 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^2 - 2 \frac{a}{r} \cos \theta \right]^{-3/2} = 1 + 3 \frac{a}{r} \cos \theta + \frac{3}{2} \left( \frac{a}{r} \right)^2 (5 \cos^2 \theta - 1) \quad (2.27)$$

Selanjutnya, masukkan persamaan (2.27) ke dalam persamaan (2.25) dan (2.26), maka akan diperolehi persamaan berikut:

### **Komponen vertikal:**

$$\begin{aligned} F_v &= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^2 \left[ \left( \cos \theta - \frac{a}{r} \right) \left\{ 1 + 3 \frac{a}{r} \cos \theta + \frac{3}{2} \left( \frac{a}{r} \right)^2 (5 \cos^2 \theta - 1) \right\} - \cos \theta \right] \\ &= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^3 (3 \cos^2 \theta - 1) + g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^4 \frac{3}{2} (5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta) \\ &= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^3 (3 \cos^2 \theta - 1) + g \frac{m_m}{m_e} \frac{3}{2} \left( \frac{a}{r} \right)^4 (5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta) \end{aligned} \quad (2.28)$$

**Komponen horizontal:**

$$\begin{aligned}
 F_H &= g \frac{m_m}{m_e} \left( \frac{a}{r} \right)^2 \left[ \sin \theta \left\{ 1 + 3 \frac{a}{r} \cos \theta + \frac{3}{2} \left( \frac{a}{r} \right)^2 (5 \cos^2 \theta - 1) \right\} - \sin \theta \right] \\
 &= g \frac{m_m}{m_e} \frac{3}{2} \left( \frac{a}{r} \right)^3 \sin 2\theta - g \frac{m_m}{m_e} \frac{3}{2} \left( \frac{a}{r} \right)^4 (5 \cos^2 \theta - 1) \sin \theta
 \end{aligned} \tag{2.29}$$

Dari persamaan (2.28) dan (2.29), jelas bahawa daya jana pasang surut dipengaruhi oleh komponen vertikal dan horizontal. Bagi persamaan  $F_v$  yang merupakan fungsi  $\cos \theta$  nilai maksimum akan diperolehi pada saat  $\theta = 0^\circ$ , ketika bulan berada di zenit di mana,

$$\frac{M}{E} \approx \frac{1}{80} \quad \text{dan} \quad \frac{a}{r} \approx \frac{1}{60}, \quad \text{dan} \quad \theta = 0$$

$$F_v \approx 0.000000112g + 0.000000003g$$

$$F_v = 0.000000115g$$

Sedangkan pada saat  $z = 180^\circ$ , bulan di titik Nadir:

$$F_v = 0.000000109g$$

Nilai komponen menegak minimum diperolehi ketika  $z$  sama dengan  $90^\circ$  atau  $270^\circ$ , di mana nilai  $F_v$  sama dengan  $-0.000000056g$  (tanda negatif menunjukkan arah). Bila nilai  $g$  sama dengan 10 meter per saat, maka komponen vertikal menghasilkan daya jana pasang surut sebesar  $10^{-6}g$  kali graviti bumi. Dalam proses terjadinya pasang surut, daya yang disebabkan oleh komponen vertikal hampir tidak memberi kesan kerana terserap oleh daya graviti bumi (bererti boleh diabaikan).

Demikian pula dengan komponen horizontal, nilai maksimum diperolehi ketika  $\theta$  sama dengan  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  dan  $315^\circ$  iaitu  $F_H$  sama dengan  $0.000000084g$ . Walaupun demikian, kerana daya pada komponen horizontal tidak ada yang bertindak balas

sebagaimana terjadi pada komponen vertikal, maka daya tersebut akan menghasilkan daya jana pasang surut. Seperti paparan di atas, bahawa daya tarik bulan akan semakin besar pada tempat di permukaan bumi yang berdekatan dengannya. Bila tempat tersebut memiliki jarak yang sama terhadap kedudukan bulan maka daya jana yang berlaku adalah sama. Sumbangan dari komponen horizontal dalam menghasilkan daya jana pasang surut oleh Doodson dan Warburg (1941) disebut dengan daya tarikan (*tractive force*).

## 2.11 Perbandingan Daya Jana Akibat Daya Tarik Bulan dan Matahari

Nilai daya jana pasang surut oleh bulan seperti dijelaskan pada Rajah 2.11 juga disebabkan oleh matahari. Bagi membandingkan daya jana yang dihasilkan oleh bulan dan matahari, bila titik A di atas permukaan bumi dianggap memiliki jisim bernilai satu, jisim bulan ialah  $m_m$ , jarak MA dianggap satu, dan jarak antara pusat bumi dan pusat bulan adalah  $r$ . Menurut Newton, daya tarik di titik A dapat dijelaskan dengan formula berikut:

$$Aa = G \frac{m_m}{(r-1)^2} \quad \text{dan}$$

$$Mm = Aa_1 = G \frac{m_m}{r^2}$$

maka daya jana  $Aa_2$ :

$$\begin{aligned} Aa_2 &= G \frac{m_m}{(r-1)^2} - G \frac{m_m}{r^2} = G.m_m \left( \frac{1}{(r-1)^2} - \frac{1}{r^2} \right) \\ &= G.m_m \frac{r^2 - (r-1)^2}{(r-1)^2 r^2} = G.m_m \frac{2r-1}{r^2 (r-1)^2} \end{aligned}$$

Bila bilangan satu dalam pembilang (*numerator*) dan penyebut (*denominator*) diabaikan maka daya jana yang dihasilkan ialah:

$$Aa = 2G \frac{m_m}{r^3}$$

di mana,

- $Aa$  = daya jana di titik A (unit Newton atau dyne)  
 $G$  = pemalar daya tarik graviti ( $6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ )  
 $m$  = jisim bulan (unit kilogram atau gram)  
 $r$  = jarak pusat bumi dengan pusat bulan (unit meter atau sentimeter)

Sehingga besarnya daya jana pada suatu titik dapat didefinisikan bahawa daya jana pasang surut yang disebabkan oleh salah satu jasad cakerawala pada suatu titik di permukaan bumi, ialah berkadar terus dengan jisim jasad cakerawala tersebut dan berkadar songsang dengan kuasa tiga dari jarak antara pusat bumi dengan pusat jasad angkasa itu.

Dengan demikian dapat dibandingkan nilai daya jana pasang surut yang disebabkan oleh matahari dan bulan di suatu titik di permukaan bumi ialah sebagai berikut:

$$K_m : K_s = \frac{m_m}{r_1^3} : \frac{m_s}{r_2^3} \Rightarrow K_m : K_s = m_m . r_2^3 : m_s . r_1^3 \Rightarrow K_m : K_s = \frac{m_m}{m_s} x \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^3$$

$$\frac{m_m}{m_s} = \frac{1}{26578000}, \text{ dan } \frac{r_2}{r_1} = 386.6, \text{ sehingga}$$

$$K_m : K_s = \frac{1}{26578000} x (386.6)^3 = \pm 2.17$$

di mana,

- $K_m$  = daya jana bulan  
 $K_s$  = daya jana matahari



$m_m$	=	jisim bulan
$m_s$	=	jisim matahari
$r_1$	=	jarak pusat bumi ke pusat bulan
$r_2$	=	jarak pusat bumi ke pusat matahari

Dengan perhitungan tersebut ternyata perbandingan daya jana yang dihasilkan oleh bulan lebih besar daripada daya jana yang dihasilkan oleh matahari.

Cuba bayangkan suatu titik A yang berada di permukaan bumi: Jarak dan arah ke jasad cakerawala setiap saat akan berubah kerana putaran bumi pada paksinya, sehingga daya jana yang berlaku pada titik tersebut akan mengalami perubahan secara berkala. Ini dapat dikatakan bahawa perubahan-perubahan daya jana pasang surut pada suatu titik tertentu di permukaan bumi, merupakan suatu fenomena yang terjadi secara berkala.

## 2.12 Daya Keseimbangan Pasang Surut

Teori ini menyatakan bahawa bumi digambarkan sebagai bentuk sfera sempurna di mana semua permukaannya dilapisi oleh air, dengan ketumpatan yang sama, maka padanya berlaku hukum keseimbangan bebas yang dihasilkan dari daya jana pasang surut. Hal ini bermakna bahawa keseimbangan pasang surut adalah pasang surut maya yang terjadi pada permukaan laut ideal di mana semua permukaan bumi dilapisi air dan memiliki daya graviti yang sama diseluruh permukaannya.

Keadaan ini adalah tidak mungkin untuk dipenuhi, maka semua hal tersebut haruslah diperhitungkan. Alasan mengapa keadaan ini tidak dapat dipenuhi adalah:

- (i) Permukaan bumi tidak seluruhnya ditutupi oleh air, ada bahagian daratan yang mengurangi aliran horizontal air laut sehingga berpengaruh pada keadaan pasang surut.

- (ii) Jisim air yang menutupi permukaan bumi memiliki daya inersia yang mempengaruhi amplitud dan fasa daripada tindak balas permukaan laut terhadap daya jana pasang surut.
- (iii) Adanya daya gesek antara jisim air laut ataupun jisim air laut dengan dasar laut sangat berpengaruh terhadap keadaan pasang surut keseimbangan.
- (iv) Kedalaman air laut yang tidak sekata, dan pada umumnya kurang dari kedalaman ideal yang diperlukan untuk menghasilkan keadaan pasang surut seimbang. Hal ini kerana keadaan ideal mencapai pasang surut seimbang bila seluruh permukaan sfera bumi dilapisi air bagi kedalaman 20 kilometer.

Menurut Newton (Gordin, 1972) yang mengemukakan teori keseimbangan pertama kali pada tahun 1687 iaitu tinggi permukaan air pada permukaan seimbang diberikan seperti persamaan berikut :

$$\zeta = -\frac{V}{g} \quad (2.30)$$

di mana,

- $\zeta$  = tinggi pasang surut seimbang
- $g$  = nilai pemalar graviti
- $V$  = penjana pasang surut laut pada titik yang bersangkutan.

Bersama dengan penjana pasang surut, amplitud pasang surut laut harian tunggal diurnal dan semi diurnal dari tinggi pasang surut laut seimbang bergantung pada garis lintang dari titik pencerap serta deklinasi dari bulan dan matahari. Dengan memasukkan nilai pada persamaan (2.30) yang bergantung pada sudut jam bulan, garis lintang tempat cerapan dan deklinasi bulan, maka dari faktor  $V_2$  akan diperolehi tiga jenis pasang surut.

- (i) Pasang surut separuh harian

$$\zeta_{22} = \frac{V_{22}}{g} = \frac{1}{4} \left( \frac{r}{r_m} \right)^3 \frac{Go}{g} (1 + \cos 2\varphi)(1 + \cos 2\delta) \quad (2.31)$$

(ii) Pasang surut harian

$$\zeta_{21} = \frac{V_{21}}{g} = \left( \frac{r}{r_m} \right)^3 \frac{Go}{g} |\sin 2\varphi \sin 2\delta| \quad (2.32)$$

(iii) Pasang surut tempoh panjang

$$\zeta_{20} = \frac{V_{20}}{g} = \frac{1}{12} \left( \frac{c}{r_m} \right)^3 \frac{Go}{g} (1 - 3\cos 2\varphi)(1 - 3\cos 2\delta) \quad (2.33)$$

di mana,

$\zeta$	=	tinggi pasang surut seimbang
$V$	=	penjana pasang surut laut pada titik yang bersangkutan
$g$	=	nilai pemalar graviti
$r$	=	perbandingan jarak purata pusat bumi dengan jejari bumi (60.266)
$r_m$	=	jarak sebenar pusat bumi dengan pusat bulan ( $r_m$ mempunyai nilai yang tidak sama kerana orbit bulan bukan lingkaran)
$Go$	=	pekali pasang surut $\left( Go = \frac{3}{4} \cdot G \cdot m_m \cdot \frac{a^2}{r^3} \right)$
$\varphi$	=	latitud pencerap
$\delta$	=	deklinasi bulan

Pada bulan Mac dan September, ketika bulan dan matahari melalui titik equinoks, deklinasi bulan dan matahari adalah sama dengan kosong. Amplitud bagi pasang purnama dari komponen pasang surut separuh harian adalah maksimum. Apabila nilai  $\varphi = \pi/2$  iaitu pada kutub utara dan selatan amplitud akan mencapai minimum, dan bagi

semua tempat lain di permukaan bumi, pasang surut separuh harian tidak akan bernilai kosong kerana deklinasi bulan antara  $-57^{\circ} 11' < 2\delta < 57^{\circ} 10'$ .

Bagi pasang surut harian, amplitud akan mencapai maksimum bila nilai  $\varphi = \pm \pi/4$  dan minimum pada saat  $\varphi = 0$  (di equator) dan  $\varphi = \pm \pi/2$  iaitu di kutub. Pasang surut tempoh panjang yang dipengaruhi oleh bulan dan memenuhi persamaan (2.33) bergantung pada nilai  $2\delta$ . Ia adalah gelombang pasang surut yang mempunyai period setengah bulan sehingga terjadi dua kali gelombang dalam 1 bulan. Amplitud maksimum akan terjadi pada kedua-dua kutub. Kerana deklinasi bulan tidak memenuhi persamaan  $\cos 2\delta = 1/3$ , maka komponen bulan dari pasang surut tempoh panjang akan wujud bagi setiap nilai  $\delta$  ketika nilai  $\varphi = \pm 35^{\circ}$ .

### 2.13 Kesimpulan

Fenomena dan pengetahuan dasar daripada pasang surut telah diuraikan pada bab ini. Sejarah, definisi, fenomena, jenis-jenis, datum pasang surut adalah pengetahuan dasar yang wajib untuk diketahui sebelum mempelajari pasang surut secara lebih mendalam. Ini kerana ia banyak digunakan dalam pelbagai aplikasi hidrografi dan oseanografi. Banyak teknik yang boleh digunakan dalam melakukan perhitungan pasang surut seperti yang telah dipaparkan, mulai dari kaedah sederhana sampai dengan yang rumit. Diantara kaedah yang telah sedia ada, perlu difahami mengenai formula dan teknik perhitungan secara terperinci dan jelas.

Pengembangan formula telah oleh Doodson diperolehi jujuk-jujuk pasang surut yang digunakan untuk analisis pasang surut saat ini. Kaedah ini seterusnya telah dilengkapi oleh Doodson dalam bentuk Bilangan Doodson, sehingga memudahkan jurukur hidrografi dalam memahami perhitungan tentang analisis pasang surut. Pengaruh daripada jasad-jasad angkasa terutama bulan dan matahari boleh dihitung secara

matematik dan dan daripdanya pula diaplikasikan dalam perhitungan analisis dan ramalan pasang surut.

Dengan demikian, pemahaman terhadap pengertian dan perhitungan daripada daya jana pasang surut dan pasang surut keseimbangan adalah perlu, ketika seorang jurukur hidrografi ingin menguasai analisis pasang surut menggunakan kaedah analisis harmonik.

## **BAB 3**

### **KAEDAH ANALISIS HARMONIK MENGGUNAKAN TEKNIK PELARASAN KUASA DUA TERKECIL**

#### **3.1 Pendahuluan**

Salah satu kaedah yang dikembangkan untuk penelitian ini adalah kaedah analisis harmonik menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil. Kaedah ini sangat sesuai digunakan untuk analisis pasang surut disebabkan oleh beberapa perkara iaitu:

- (i) Analisis harmonik mampu menghitung data cerapan pasang surut dengan tempoh waktu yang panjang.
- (ii) Semakin lama waktu cerapan pasang surut semakin banyak juzuk-juzuk yang akan dihasilkan.
- (iii) Proses perhitungannya lebih singkat dan lebih sederhana.
- (iv) Kejituan dari setiap juzuk-juzuk pasang surut boleh diperolehi.

Dengan kelebihan yang dimiliki tersebut, maka diharapkan penggunaan teknik pelarasan kuasa dua terkecil dapat diaplikasikan dalam bentuk pengaturcaraan yang akan lebih memudahkan pengguna dalam melakukan analisis pasang surut. Selain daripada itu, pembetulan amplitud dan fasa perlu dilakukan bagi memberikan nilai yang lebih baik. Dalam bab ini akan dilakukan kajian yang lebih mendalam, sehingga akan memberi gambaran yang lebih jelas bagaimana teknik pelarasan kuasa dua terkecil digunakan dalam perhitungan analisis harmonik pasang surut, serta cara memberikan pembetulan terhadap nilai amplitud dan fasa yang dihasilkannya.

### **3.2 Juzuk-Juzuk Pasang Surut**

Dari hasil pengembangan daya jana pasang surut seperti yang dijelaskan pada bab 2, maka akan didapati juzuk-juzuk pasang surut. Setiap juzuk memiliki halaju sudut yang kekal, di mana diperolehi dari kombinasi linear sudut jam bulan atau matahari dan parameter  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $N$  dan  $p'$ . Juzuk-juzuk pasang surut inilah yang akan digunakan pada analisis pasang surut.

Analisis pasang surut bertujuan untuk menghitung amplitud dan fasa dari setiap gelombang juzuk pasang surut sebagai hasil gerak balas dari laut tempatan terhadap pasang surut keseimbangan. Dasar dari teori ini adalah kaedah Laplace, bahawa gelombang dari juzuk pasang surut keseimbangan selama perambatannya akan memperolehi gerak balas dari laut yang dilaluinya. Dalam hal ini amplitud mengalami perubahan dan fasa juga akan mengalami keterlambatan, namun halaju sudut setiap juzuk pasang surut sentiasa tetap.

Oleh yang demikian dapatlah diertikan bahawa juzuk pasang surut adalah gelombang harmonik yang apabila dijumlahkan akan diperolehi gambaran gelombang pasang surut di suatu tempat.

### 3.3 Pemilihan Juzuk-Juzuk Pasang Surut

Sebelum melakukan perhitungan menggunakan kaedah analisis harmonik dengan teknik pelarasan kuasa dua terkecil, perlu diketahui bagaimana cara melakukan pemilihan juzuk-juzuk pasang surut. Hal ini sangat penting disebabkan oleh adanya hubungan diantara panjang tempoh cerapan pasang surut dengan banyaknya juzuk-juzuk pasang surut yang dapat digunakan untuk melakukan analisis.

Menurut Rayleigh (Pugh D.T., 1987), ada dua hal yang harus dipenuhi dalam melakukan pemilihan juzuk-juzuk pasang surut yang akan digunakan pada perhitungan analisis harmonik. Adapun dua syarat tersebut ialah:

- (i) Pemilihan juzuk-juzuk pasang surut berdasarkan halaju sudut.
- (ii) Pemilihan juzuk-juzuk pasang surut berdasarkan period sinodik.

#### 3.3.1 Pemilihan Juzuk-Juzuk Pasang Surut Berdasarkan Halaju Sudut

Syarat pemilihan yang dimaksudkan ialah hubungan antara halaju sudut daripada juzuk-juzuk yang akan digunakan dengan panjang tempoh cerapan dan epoh dari data pasang surut yang akan dihitung. Dengan demikian boleh ditentukan julat halaju sudut, dimana juzuk-juzuk pasang surut yang terletak diantara julat tersebut yang boleh digunakan untuk perhitungan analisis harmonik. Secara matematik syarat tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

Halaju sudut juzuk-juzuk yang memenuhi syarat ( $\omega_p$ ):

$$\omega_{\min} < \omega_p < \omega_{\max} \quad (3.1)$$

Nilai halaju sudut minimum ( $\omega_{\min}$ ):



$$\omega_{\min} = \frac{360^\circ}{PTC} \quad (3.2)$$

Nilai halaju sudut maksimum ( $\omega_{mak}$ ):

$$\omega_{mak} = \frac{180}{E} \quad (3.3)$$

di mana,

$\omega_p$  = halaju sudut yang memenuhi syarat ( $^\circ/\text{jam}$ )

$\omega_{\min}$  = nilai halaju sudut minimum ( $^\circ/\text{jam}$ )

$\omega_{mak}$  = nilai halaju sudut maksimum ( $^\circ/\text{jam}$ )

$PTC$  = panjang tempoh cerapan (jam)

$E$  = epoh (jam)

Bagi memudahkan pemahaman terhadap syarat tersebut, sekiranya panjang tempoh cerapan 30 hari (720 jam) dengan epok cerapan setiap satu jam. Maka perhitungan syarat tersebut boleh dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Batas minimum halaju sudut : } \omega_{\min} = \frac{360^\circ}{720} = 0.5^\circ / \text{jam}$$

$$\text{Batas maksimum halaju sudut : } \omega_{mak} = \frac{180}{1} = 180^\circ / \text{jam}$$

Juzuk-juzuk pasang surut yang boleh digunakan dalam analisis harmonik sesuai dengan perhitungan di atas adalah juzuk-juzuk yang memiliki halaju sudut antara

0.5°/jam hingga 180°/jam. Selanjutnya, juzuk-juzuk tersebut masih harus dipilih lagi dengan memenuhi syarat yang kedua seperti penjelasan dibawah ini.

### 3.3.2 Pemilihan Juzuk-Juzuk Pasang Surut Berdasarkan Period Sinodik

Syarat yang harus dipenuhi selanjutnya adalah syarat yang didasarkan pada panjang tempoh cerapan minimum dari data pasang surut yang akan digunakan untuk analisis, di mana tempoh cerapan tersebut mampu memisahkan dua juzuk pasang surut pada saat perhitungan analisis harmonik.

Panjang tempoh cerapan minimum biasanya disebut dengan period sinodik. Formula yang digunakan untuk menghitung period sinodik dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$PS = \frac{360^\circ}{|\omega_2 - \omega_1|} \quad (3.4)$$

di mana,

$PS$  = period sinodik

$\omega_1$  = halaju sudut juzuk pasang surut 1 (°/jam)

$\omega_2$  = halaju sudut juzuk pasang surut 2 (°/jam)

Jika dalam analisis harmonik akan menggunakan juzuk-juzuk pasang surut  $M_2$  dan  $S_2$ , di mana masing-masing memiliki halaju sudut 28.9841042373°/jam dan 30°/jam, maka period sinodik dapat dihitung sebagai berikut:

$$PS = \frac{360^\circ}{|28.9841042373 - 30.0|}$$

$$PS = \frac{360^\circ}{1.0158957627}$$

$$PS = 354.367065 \text{ jam}$$

$$PS = 14.765294 \text{ hari}$$

Dengan demikian, bila  $M_2$  dan  $S_2$  akan digunakan dalam perhitungan analisis harmonik pasang surut, period sinodik atau panjang tempoh cerapan pasang surut yang harus dilakukan adalah 14.765294 hari.

### 3.4 Analisis Harmonik

Seperti yang telah dijelaskan pada sub Bab 3.2, tujuan dari analisis adalah untuk menghitung perubahan amplitud dan keterlambatan fasa, maka demikian pula yang dilakukan dalam perhitungan analisis harmonik. Banyak kaedah yang digunakan dalam perhitungan analisis harmonik, akan tetapi penulis akan mengkaji lebih mendalam tentang penggunaan teknik pelarasan kuasa dua terkecil dalam menyelesaikan analisis harmonik.

#### 3.4.1 Penyelesaian Persamaan

Dengan mengabaikan terlebih dahulu faktor astronomi, formula asas yang digunakan adalah seperti berikut:

$$h(t_n) = Z_0 + \sum_{r=1}^k R_r \cos(\omega_r t_n - \theta_r) \quad (3.5)$$

di mana,

$h(t_n)$  = ketinggian pasang surut pada waktu tertentu ( $t$ ).

$Z_o$  = aras laut min.

$R_r$  = amplitud juzuk ke- $n$ .

$\omega_r$  = halaju juzuk ke- $n$ .

$\theta_r$  = fasa juzuk ke- $n$ .

$t_n$  = masa.

$r$  = jumlah juzuk yang dihitung.

Dengan menggunakan kaedah trigonometri,

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta + \sin \alpha \cdot \sin \beta \quad (3.6)$$

maka, persamaan (3.5) dapat diubah menjadi:

$$h(t_n) = Z_o + \sum_{r=1}^k R_r \cos(\omega_r t_n) \cdot \cos(\theta_r) + \sum_{r=1}^k R_r \sin(\omega_r t_n) \cdot \sin(\theta_r) \quad (3.7)$$

bila,

$$A_r = R_r \cos(\theta_r) \text{ dan } B_r = R_r \sin(\theta_r)$$

maka,

$$h(t_n) = Z_o + \sum_{r=1}^k A_r \cdot \cos(\omega_r t_n) + \sum_{r=1}^k B_r \cdot \sin(\omega_r t_n) \quad (3.8)$$

di mana,

$A_r, B_r$  = komponen harmonik ke- $r$

$k$  = jumlah komponen harmonik

$t_n$  = waktu cerapan setiap jam  $(-n, -n+1, \dots, 0, \dots, n)$ ,  $t_n=0$  adalah waktu tengah cerapan

Sehingga, dapat ditentukan:

- (i) Komponen cerapan :  $h(t_n)$
- (ii) Komponen yang dihitung :  $Z_o, A_r, B_r$
- (iii) Komponen yang ditentukan :  $\omega_t$

Nilai  $h(t)$  hasil dari hitungan persamaan (3.8) akan menghampiri ketinggian pasang surut sebenar apabila :

$$\mu^2 = \sum_{t=1}^k \{ h(t_n) - \hat{h}(t_n) \}^2 = \text{minimum} \quad (3.9)$$

di mana,

$h(t)$  = ketinggian pasang surut pada waktu tertentu ( $t$ )

$\hat{h}(t)$  = ketinggian pasang surut yang dianggap benar

Maka, fungsi di atas akan menjadi minimum bila memenuhi persamaan berikut:

$$\frac{\delta \mu^2}{\delta Z_o} = \frac{\delta \mu^2}{\delta A_r} = \frac{\delta \mu^2}{\delta B_r} = 0, \quad r = 1, 2, 3, \dots, k \quad (3.10)$$

Dari persamaan tersebut diperolehi  $2k+1$  persamaan, dan dapat ditentukan nilai  $Z_o, A_r, B_r$ .

Persamaan normal diturunkan dari penghuraian tersebut dan dapat dituliskan seperti berikut:

$$\mu^2 = \sum_{tn=-n}^n \left( h(t_n) - (Zo + \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r t_n + \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r t_n) \right)^2 \Rightarrow \text{minimum}$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta \mu^2}{\delta Z_o} &= 2 \sum_{tn=-n}^n \{ (h(t_n) - Zo - \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r t_n - \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r t_n) \} (-1) = 0 \\ - \sum_{tn=-n}^n h(t_n) + \sum_{r=1}^k \left( Zo + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \right) &= 0 \\ \sum_{r=1}^k \left( Zo + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \right) &= \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta \mu^2}{\delta A_r} &= 2 \sum_{tn=-n}^n \left( h(t_n) - Zo - \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r t_n - \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r t_n \right) (-\cos \omega_r t_n) = 0 \\ - \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \sum_{tn=-n}^n \cos \omega_r t_n + \sum_{r=1}^k \left( Zo \cos \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos \omega_r t_n \cos \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \cos \omega_r t_n \right) &= 0 \\ \sum_{r=1}^k \left( Zo \cos \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos^2 \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \cos \omega_r t_n \right) &= \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \sum_{tn=-n}^n \cos \omega_r t_n \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta \mu^2}{\delta B_r} &= 2 \sum_{tn=-n}^n \left( h(t_n) - Zo - \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r t_n - \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r t_n \right) (-\sin \omega_r t_n) = 0 \\ - \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \sum_{tn=-n}^n \sin \omega_r t_n + \sum_{r=1}^k \left( Zo \sin \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos \omega_r t_n \sin \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \sin \omega_r t_n \right) &= 0 \\ \sum_{r=1}^k \left( Zo \sin \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos \omega_r t_n \sin \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \sin \omega_r t_n \right) &= \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \sum_{tn=-n}^n \sin \omega_r t_n \end{aligned} \quad (3.13)$$

Dari hasil penyelesaian persamaan dasar (3.5), diperoleh 3 persamaan normal yaitu persamaan (3.11), (3.12), (3.13).

### 3.4.2 Pembentukan Matriks

Bagi memudahkan perhitungan persamaan normal menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil, maka perlu dilakukan pembentukan persamaan matriks yang didasarkan pada persamaan normal tersebut. Hal tersebut dapat dilakukan seperti berikut:

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^k \left( Z_o + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \right) &= \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \\ \sum_{r=1}^k \left( Z_o \cos \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos^2 \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin \omega_r t_n \cos \omega_r t_n \right) &= \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \sum_{tn=-n}^n \cos \omega_r t_n \\ \sum_{r=1}^k \left( Z_o \sin \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n A_r \cos \omega_r t_n \sin \omega_r t_n + \sum_{tn=-n}^n B_r \sin^2 \omega_r t_n \right) &= \sum_{tn=-n}^n h(t_n) \sum_{tn=-n}^n \sin \omega_r t_n \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan normal tersebut, maka diubah ke dalam bentuk bentuk matriks  $AX = F$  sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cos \omega_1 t_1 & \dots & \cos \omega_r t_1 & \sin \omega_1 t_1 & \dots & \sin \omega_r t_1 \\ 1 & \cos \omega_1 t_2 & \dots & \cos \omega_r t_2 & \sin \omega_1 t_2 & \dots & \sin \omega_r t_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos \omega_1 t_n & \dots & \cos \omega_r t_n & \sin \omega_1 t_n & \dots & \sin \omega_r t_n \end{bmatrix} X = \begin{bmatrix} Z_o \\ A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_r \\ B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_r \end{bmatrix} F = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_n \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Selanjutnya, dengan menggunakan persamaan matriks (3.14), dapat dihitung nilai parameter pada matriks  $X$  dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
AX &= F \\
(A^T A)X &= A^T F \\
(A^T A)^{-1}(A^T A)X &= (A^T A)^{-1} A^T F \\
X &= (A^T A)^{-1} A^T F
\end{aligned} \tag{3.15}$$

Bagi menyelesaikan persamaan matriks di atas, maka dihitung komponen matriks seperti berikut:

$$A^T A = \begin{bmatrix} 2n+1 & A_1 & A_2 & \dots & A_r & B_1 & B_2 & \dots & B_r \\ A_1 & A_1 A_1 & A_1 A_2 & \dots & A_1 A_r & A_1 B_1 & A_1 B_2 & \dots & A_1 B_r \\ A_2 & A_2 A_1 & A_2 A_2 & \dots & A_2 A_r & A_2 B_1 & A_2 B_2 & \dots & A_2 B_r \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_r & A_r A_1 & A_r A_2 & \dots & A_r A_r & A_r B_1 & A_r B_2 & \dots & A_r B_r \\ B_1 & B_1 A_1 & B_1 A_2 & \dots & B_1 A_r & B_1 B_1 & B_1 B_2 & \dots & B_1 B_r \\ B_2 & B_2 A_1 & B_2 A_2 & \dots & B_2 A_r & B_2 B_1 & B_2 B_2 & \dots & B_2 B_r \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_r & B_r A_1 & B_r A_2 & \dots & B_r A_r & B_r B_1 & B_r B_2 & \dots & B_r B_r \end{bmatrix} \tag{3.16}$$

Komponen di atas merupakan nilai dari:

$$\begin{aligned}
A_j &= \sum_{t_n=1}^n \cos \omega_j t_n \\
B_j &= \sum_{t_n=1}^n \sin \omega_j t_n \\
A_j A_k &= \sum_{t_n=1}^n \cos \omega_j t_n \cos \omega_k t_n \\
B_j B_k &= \sum_{t_n=1}^n \sin \omega_j t_n \sin \omega_k t_n \\
A_j B_k &= \sum_{t_n=1}^n \cos \omega_j t_n \sin \omega_k t_n
\end{aligned}$$

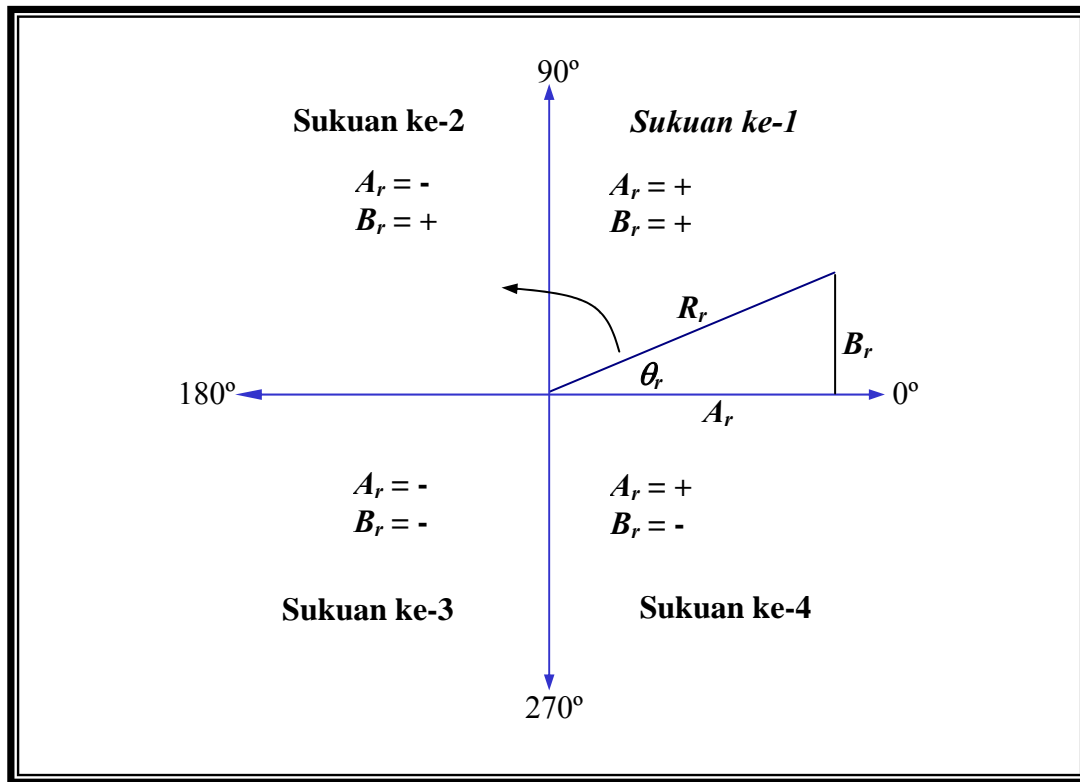
Dalam pada itu, penyelesaian  $A^T F$  adalah sebagai berikut :



$$A^T F = \begin{bmatrix} \sum_{tn=l}^n ht_n \\ \sum_{tn=l}^n ht_n \cos \omega_l t_n \\ \sum_{tn=l}^n ht_n \cos \omega_2 t_n \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{tn=l}^n ht_n \cos \omega_r t_n \\ \sum_{tn=l}^n ht_n \sin \omega_l t_n \\ \sum_{tn=l}^n ht_n \sin \omega_2 t_n \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{tn=l}^n ht_n \sin \omega_l t_n \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Dari hasil akhir perhitungan akan diperolehi nilai dari matriks  $X$ , sebagai nilai dari parameter  $Z_o$ ,  $A_r$  dan  $B_r$  yang digunakan untuk perhitungan amplitud dan fasa setiap juzuk pasang surut yang dihitung.

Dengan menggunakan kaedah koordinat kartesian pada matematik seperti dalam Rajah 3.1, maka nilai amplitud dan fasa dari setiap juzuk dapat dihitung dengan formula berikut:



**Rajah 3.1:** Sukuan pada koordinat matematik

- (i) Amplitud ( $R_r$ ) setiap komponen pasang surut

$$R_r = \sqrt{A_r^2 + B_r^2} \quad (3.18)$$

Bagi mengetahui nilai amplitud yang sebenarnya ( $H_r$ ), maka nilai  $R_r$  harus dibahagikan dengan nilai  $f_r$  sebagai faktor pembetulan nod.

$$H_r = \frac{R_r}{f_r} \quad (3.19)$$

- (ii) Fasa ( $\theta_r$ ) setiap komponen pasang surut

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{B_r}{A_r} \right) \quad (3.20)$$

Bagi melakukan perhitungan keterlambatan fasa terhadap pasang surut seimbang, ia dapat dihitung dengan formula di bawah ini, di mana nilai  $Vg_r$  dan  $\mu_r$  adalah faktor astronomi yang akan dibahas lebih mendalam pada bahagian lain bab ini.

$$g_r = \theta_r + Vg_r + \mu_r \quad (3.21)$$

dimana,

$g_r$	=	susulan fasa pada pasang surut seimbang di Greenwich
$\theta_r$	=	initial fasa
$Vg_r$	=	fasa pasang surut keseimbangan dihitung dari Greenwich
$\mu_r$	=	faktor pembetulan fasa bergantung pada posisi nod

### 3.5 Sisihan Piawai Bagi Cerapan Tinggi Air

Bagi mengetahui ketelitian dari model matematik yang dibuat dan dibandingkan dengan nilai cerapan pasang surut, maka perlu dihitung nilai sisihan piawai sebagai penentuan kejitian perhitungan. Sebagaimana formula umum untuk menghitung sisihan piawai, model matematik perlu diuji sejauh mana kejituannya. Hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\sigma_h = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(h_o - h_m)^2}}{n-1} \quad (3.22)$$

di mana,

$\sigma_h$	=	nilai sisihan piawai bagi cerapan tinggi air
$h_o$	=	tinggi air cerapan

$h_m$  = tinggi air hasil model matematik  
 $n$  = jumlah data

### 3.6 Perambatan Selisih Bagi Amplitud dan Fasa

Selain sisihan piawai, dihitung juga ketelitian parameter yang dihasilkan, dalam hal ini adalah ketelitian amplitud dan fasa untuk setiap juzuk pasang surut. Sehubungan dengan itu untuk mendapatkan ketelitian dari amplitud dan fasa, maka perlu dilakukan perhitungan perambatan selisih (*errors propagation*). Perambatan selisih amplitud dan fasa dihitung menggunakan formula (3.23) dan (3.24). Formula tersebut diperolehi melalui penurunan secara lengkap sila lihat LAMPIRAN A.

$$\sigma_{R_r} = \sqrt{\left( \frac{A_r^2}{A_r^2 + B_r^2} \sigma_{A_r}^2 + \frac{B_r^2}{A_r^2 + B_r^2} \sigma_{B_r}^2 \right)} \quad (3.23)$$

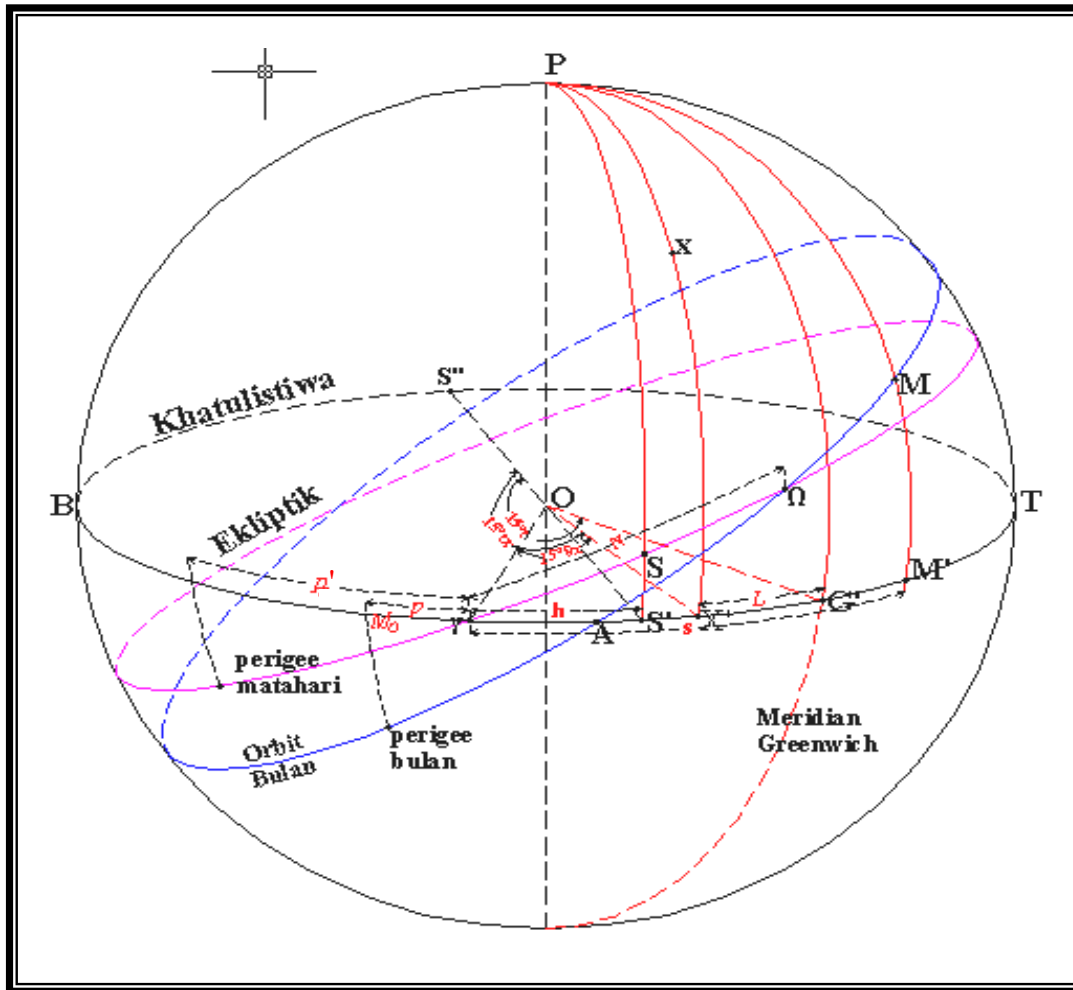
$$\sigma_{\theta_r} = \sqrt{\left( \frac{B_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \sigma_{A_r}^2 + \frac{A_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \sigma_{B_r}^2 \right)} \quad (3.24)$$

Perhitungan ini dilakukan terhadap semua juzuk yang digunakan pada analisis harmonik. Tujuan daripadanya adalah menghitung nilai kejituan amplitud dan fasa yang dihasilkan dari analisis harmonik.

### 3.7 Parameter $s$ , $h$ , $p$ , $p'$ dan $N$

Seperti diketahui pada penjelasan Bab 2 bahawa, banyak faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya pasang surut. Maka, berikut ini akan dijelaskan terhadap pelbagai

gerakan yang mempengaruhi kedudukan bulan dan matahari sebagai faktor utama yang sangat mempengaruhi pasang surut seperti Rajah 3.2 berikut ini.



**Rajah 3.2:** Perhitungan sudut waktu bulan

Walaupun kecil secara keseluruhan faktor-faktor tersebut haruslah diambil kira dalam perhitungan pasang surut. Adapun faktor-faktor tersebut dapat dibahagikan menjadi lima komponen penting iaitu:

- (i) Longitud purata daripada bulan ( $s$ )
- (ii) Longitud purata daripada matahari ( $h$ )
- (iii) Longitud purata daripada titik *perigee* terhadap orbit bulan ( $p$ )

- (iv) Longitud purata daripada titik *perigee* terhadap orbit matahari ( $p'$ )
- (v) Longitud purata daripada nod menaik ( $N$ )

Sebagaimana dikemukakan, matahari maupun bulan tidak memiliki halaju yang tetap. Bagi memudahkan dalam perhitungan perlu didefinisikan suatu matahari dan bulan khayalan (*fictitious sun and moon*) di mana ianya dianggap memiliki halaju tetap yang diambil dari longitud purata setiap parameter tersebut. Pengertian terhadap parameter  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$  yang dinyatakan dalam longitud purata boleh diertikan longitud purata bulan atau matahari khayalan. Dengan demikian, maka nilai parameter  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$  dapat ditentukan sebagai halaju sudut yang tetap pula.

Bila waktu yang diperlukan matahari dan bulan khayalan mengelilingi khatulistiwa sama dengan waktu yang diperlukan oleh matahari dan bulan sebenar, maka parameter seperti longitud, latitud, dan jarak antara matahari atau bulan pada waktu tertentu dapat dinyatakan sebagai siri trigonometri dari nilai-nilai parameter  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$ . Jika longitud dari matahari sebenar, perbandingan antara jarak sebenar dan jarak purata daripada matahari dapat dinyatakan sebagai persamaan:

$$\lambda_s = h + \sum_{j=0}^{\infty} A_j \sin j(h - p') \quad \text{dan} \quad \frac{r_s}{r_2} = 1 + \sum B_j \cos j(h - p') \quad (3.25)$$

di mana,

$$\begin{aligned} \lambda_s &= \text{longitud matahari sebenar} \\ r_s &= \text{jarak purata daripada bumi ke matahari} \\ r_2 &= \text{Jarak sebenar daripada bumi ke matahari} \end{aligned}$$

Berdasarkan pengertian di atas, akan diuraikan satu persatu nilai dari parameter  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$ . Daripada hasil cerapan telah diperolehi bahawa, nilai purata dari waktu bulan mengelilingi orbitnya adalah 27.326 hari suria min, sehingga dapat diperolehi besarnya nilai parameter  $s$  sebagai berikut:

$$s = \frac{360^\circ}{27.326 \times 24} = 0.5490^\circ / \text{jam suria min}$$

$$= 13.17644^\circ / \text{hari suria min}$$

Bila matahari mengelilingi ekliptik memerlukan waktu 365.2422 hari suria min, maka nilai  $h$  dapat ditentukan seperti berikut:

$$h = \frac{360^\circ}{365.242} = 0.98565^\circ / \text{hari suria min}$$

Kemudian dari hasil banyak kali cerapan diketahui bahawa, ternyata tempoh anomalistik berbeda dengan tempoh longitud, kerana pada ketika bulan telah menyelesaikan satu tempoh siderius masih diperlukan lagi 0.2330 hari suria min untuk ianya sampai pada nod *perigee*. Disebabkan hal demikian longitud *perigee* terhadap orbit bulan memiliki halaju sudut anomalistik.

$$\text{Halaju sudut anomalistik} = \frac{360^\circ}{27.5546 \times 24} = 0.5444^\circ / \text{jam suria min}$$

Nilai  $p$  adalah selisih antara halaju sudut anomalistik dengan halaju sudut parameter  $s$ .

$$p = 0.5490^\circ - 0.5440^\circ = 0.0046^\circ / \text{jam suria min}$$

$$= 0.11140^\circ / \text{hari suria min}$$

Bagi menghitung halaju sudut dari nod menaik ( $N$ ), harus digunakan kedudukan suatu bintang yang tetap di langit (biasanya diambil salah satu susunan bintang zodiak) sebagai rujukan. Seperti diketahui, setiap kali bulan selesai mengelilingi orbitnya, ia selalu memotong ekliptik pada tempat yang berbeza. Hal ini bererti nod menaik akan sentiasa bergerak pada garis ekliptik.. Pergerakan ini akan kembali pada kedudukan sama dalam tempoh waktu 18.6 tahun suria min. Jadi besarnya halaju sudut  $N$  adalah:

$$N = \frac{360^\circ}{18.61 \times 365.2422} = -0.052955^\circ / \text{hari suria min}$$

Tanda negatif menunjukkan  $N$  semakin kecil terhadap waktu (kerana titik ini bergerak ke barat sepanjang ekliptik, sama seperti gerakan ekuinoks musim bunga). Waktu purata yang diperlukan oleh matahari dari kedudukan *perigee* ke kedudukan semula adalah 20.942 tahun, sehingga halaju sudut  $p'$  dapat diperolehi dengan nilai  $0.000047^\circ$  per hari suria min.

Dengan demikian, nilai mutlak dari setiap parameter  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$  pada jam kosong hari ke D dan tahun ke Y adalah:

$$\begin{aligned} s &= 277.02^\circ + 481267.89^\circ.T + 0.0011^\circ.T^2 \\ h &= 280.19^\circ + 36000.77^\circ.T + 0.0003^\circ.T^2 \\ p &= 334.39^\circ + 4069.04^\circ.T + 0.0103^\circ.T^2 \\ N &= 259.16^\circ + 1934.14^\circ.T + 0.0021^\circ.T^2 \\ p' &= 281.22^\circ + 1.72^\circ.T + 0.0005^\circ.T^2 \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$T = \frac{365.(Y - 1900) + (D - 1) + i}{36525} \quad (3.27)$$

$$i = \frac{Y - 1901}{4} \quad (3.28)$$

di mana,

$s$	=	longitud purata daripada bulan
$h$	=	longitud purata daripada matahari
$p$	=	longitud purata daripada titik <i>perigee</i> terhadap orbit bulan
$N$	=	longitud purata daripada nod menaik
$p'$	=	longitud purata daripada titik <i>perigee</i> terhadap orbit matahari



- $Y$  = tahun masihi pada waktu dilakukan cerapan.  
 $D$  = bilangan hari dalam setahun pada pertengahan tempoh cerapan.  
 $T$  = waktu abad Julian yang bermula dari 1 Januari 1900  
 $i$  = nilai integer dari jumlah tahun lompat dari tahun 1901 sehingga tahun ke  $Y$

### 3.8 Bilangan Doodson

Dalam menentukan halaju setiap juzuk pasang surut, Doodson telah memudahkan dalam bentuk Bilangan Doodson, di mana bilangan ini adalah bilangan bulat yang mencampurkan parameter  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$  sesuai dengan jenis, kelompok dan penggolongan juzuk pasang surut. Berikut ini adalah contoh jadual Bilangan Doodson dan pengertiannya:

**Jadual 3.1:** Contoh nilai Bilangan Doodson

Nama	$t$ °/jam	$s$ °/jam	$h$ °/jam	$P$ °/jam	$N$ °/jam	$p'$ °/jam	Halaju Sudut ( $\omega$ )
	15	0.5490	0.04107	0.00464	0.00221	0.00000196	
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	
SA	0	0	1	0	0	0	0.0410686393°/jam
O <sub>1</sub>	1	-2	1	0	0	0	13.943036698°/jam
M <sub>2</sub>	2	-2	2	0	0	0	28.9841042373°/jam

Bilangan Doodson terdiri dari 6 bilangan bulat  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$ ,  $k_5$  dan  $k_6$ . Setiap bilangan tersebut mewakili faktor pengali untuk nilai  $t$ ,  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$ , sehingga halaju sudut suatu juzuk dapat dihitung sebagai berikut:

$$\omega = k_1.t + k_2.s + k_3.h + k_4.p + k_5.N + k_6.p' \quad (3.29)$$

di mana,

$\omega$	=	halaju juzuk pasang surut
$k_1$	=	bilangan bulat faktor pekali untuk $t$
$k_2$	=	bilangan bulat faktor pekali untuk $s$
$k_3$	=	bilangan bulat faktor pekali untuk $h$
$k_4$	=	bilangan bulat faktor pekali untuk $p$
$k_5$	=	bilangan bulat faktor pekali untuk $N$
$k_6$	=	bilangan bulat faktor pekali untuk $p'$
$t$	=	nilai satu jam waktu setara dengan $15^\circ$ sudut waktu
$s$	=	longitud purata daripada bulan
$h$	=	longitud purata daripada matahari
$p$	=	longitud purata daripada titik <i>perigee</i> terhadap orbit bulan
$N$	=	longitud purata daripada nod menaik
$p'$	=	longitud purata daripada titik <i>perigee</i> terhadap orbit matahari

Nilai  $k_1$  dalam Bilangan Doodson, juga dapat dimanfaatkan untuk mengetahui jenis pasang surut dari juzuk tersebut, hal ini bererti bila  $k_1$  bernilai 0 maka juzuk tergolong pada juzuk tempoh panjang, satu bererti juzuk harian, dua bererti juzuk separuh harian dan seterusnya. Secara lengkap Bilangan Doodson untuk 64 juzuk pasang surut sila lihat LAMPIRAN B.

### 3.9 Perhitungan Pembetulan Amplitud dan Susulan Fasa

Pada sub bab ini akan dijelaskan bagaimana melakukan pembetulan amplitud dan fasa yang dihasilkan daripada analisis harmonik. Dari hasil perhitungan analisis harmonik menggunakan kaedah pelarasan kuasa dua terkecil nilai  $R_r$  dan  $\theta_r$  harus dibetulkan dengan nilai  $f_r$ ,  $Vg_r$  dan  $\mu_r$ . Secara keseluruhan, akan dihuraikan langkah-langkah perhitungan mulai dari menghitung nilai  $f_r$ ,  $vg_r$  dan  $\mu_r$  sampai diperolehi nilai  $R_r$  dan  $\theta_r$ .

Ada dua cara dalam menentukan awalan perhitungan untuk analisis harmonik, dimana kaedah pertama, data cerapan dianggap satu hingga  $n$  dan kaedah kedua, data cerapan dianggap  $-n$  hingga  $n$ . Pengertian ini sangatlah penting kerana terkait dengan penentuan nilai  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$ . Bagi memahami pengertian daripada permasalahan ini, berikut adalah contoh perhitungan.

Bila data dianggap sebagai nilai satu hingga  $n$ , dengan awal cerapan pada 5 Mac 2004 jam 00.00 dan hasil perhitungan analisis harmonik amplitud  $M_2$  adalah 0.4555 meter dan fasa  $M_2$  adalah  $129.263^\circ$ , maka berikut ini adalah urutan cara menghitung nilai  $f_r$ ,  $V_{gr}$  dan  $\mu_r$  sampai pada pembetulan amplitud dan fasa, sehingga diperolehi hasil akhir berupa amplitud dan susulan fasa dari setiap juzuk pasang surut.

- (i) Langkah 1: perhitungan nilai  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$   
 Merujuk pada formula (3.26), (3.27) dan (3.28), perhitungan nilai  $s$ ,  $h$ ,  $p$ ,  $p'$  dan  $N$  di mulai dari 5 Mac 2004 jam 00.00.

Perhitungan bilangan tahun lompat:

$$i = \frac{2004 - 1901}{4} = 25.75$$

$$i = \text{int}(25.75) = 25$$

Perhitungan jumlah bilangan hari, dari 1 Januari sampai dengan 5 Mac

$$D = \text{bulan Januari} + \text{bulan Februari} + 5 \text{ hari}$$

$$D = 31 + 28 + 5$$

$$D = 64$$

Perhitungan waktu abad Julian yang bermula dari 1 Januari 1900

$$T = \frac{365.(2004 - 1900) + (64 - 1) + 25}{36525}$$

$$T = 1.0416975$$

$$Jumlah\_jam = (365.(2004 - 1900) + (64 - 1) + 25).24$$

$$Jumlah\_jam = 913152$$

$$s = 277.02^\circ + 481267.89^\circ * (1.0416975) + 0.0011^\circ * (1.0416975)^2$$

$$h = 280.19^\circ + 36000.77^\circ * (1.0416975) + 0.0003^\circ * (1.0416975)^2$$

$$p = 334.39^\circ + 4069.04^\circ * (1.0416975) + 0.0103^\circ * (1.0416975)^2$$

$$N = 259.16^\circ + 1934.14^\circ * (1.0416975) + 0.0021^\circ * (1.0416975)^2$$

$$p' = 281.22^\circ + 1.72^\circ * (1.0416975) + 0.0005^\circ * (1.0416975)^2$$

$$s = 501612.579^\circ = \left( \left( \left( \frac{501612.579^\circ}{360^\circ} \right) - \text{int} \left( \frac{501612.579^\circ}{360^\circ} \right) \right) * 360^\circ \right) = 132.579^\circ$$

$$h = 37783.102^\circ = \left( \left( \left( \frac{37783.102^\circ}{360^\circ} \right) - \text{int} \left( \frac{37783.102^\circ}{360^\circ} \right) \right) * 360^\circ \right) = 343.102^\circ$$

$$p = 4573.110^\circ = \left( \left( \left( \frac{4573.110^\circ}{360^\circ} \right) - \text{int} \left( \frac{4573.110^\circ}{360^\circ} \right) \right) * 360^\circ \right) = 253.110^\circ$$

$$N = 2273.951^\circ = \left( \left( \left( \frac{2273.951^\circ}{360^\circ} \right) - \text{int} \left( \frac{2273.951^\circ}{360^\circ} \right) \right) * 360^\circ \right) = 113.951^\circ$$

$$p' = 283.012^\circ$$

(ii) Langkah 2: perhitungan  $f$

Perhitungan frekuensi ( $f$ ) untuk jujuk pasang surut  $M_2$  dilakukan dengan menggunakan formula seperti LAMPIRAN B.

$$f_{M_2} = 1.0004 - 0.0373 \cos(N) + 0.0002 \cos(2N)$$

$$f_{M_2} = 1.0004 - 0.0373 \cos(113.951^\circ) + 0.0002 \cos(2 * 113.951^\circ)$$

$$f_{M_2} = 1.01540805$$

Dengan cara yang sama, perhitungan nilai  $f$  untuk setiap juzuk pasang surut dapat dilakukan.

(iii) Langkah 3: perhitungan  $\mu_r$

Untuk menghitung nilai  $\mu$  digunakan formula sebagaimana LAMPIRAN B, sehingga nilai  $\mu$  untuk  $M_2$  adalah:

$$\mu_{M_2} = -2.14 \sin(N)$$

$$\mu_{M_2} = -2.14^\circ * \sin(113.951^\circ)$$

$$\mu_{M_2} = -1.956^\circ$$

Oleh kerana, dalam perhitungan analisis melibatkan banyak juzuk pasang surut, maka dengan cara yang sama perhitungan  $\mu$  untuk setiap juzuk dilakukan seperti dijelaskan pada langkah ini.

(iv) Langkah 4: perhitungan  $Vg_r$

Teknik perhitungan yang lebih efektif digunakan adalah perhitungan nilai  $Vg_r$  dalam pasang surut keseimbangan bermula 1 Januari 1900 dari Greenwich. Bila  $Vg_{M_2}$  merupakan nilai halaju sudut  $M_2$ , maka nilai  $Vg_{M_2}$  adalah penjumlahan  $Vo_r$  +  $Vg_r * t$ , di mana  $t$  adalah masa (dalam jam) terhitung dari jam 00.00, 1 Januari 1900 sampai awalan perhitungan analisis. Nilai  $Vo_r$  dapat diperolehi daripada jadual Bilangan Doodson pada LAMPIRAN B.

$$Vg_{M_2} = 6.328 + 28.9841042373 * 913152$$

$$Vg_{M_2} = 26466899.081^\circ$$

$$Vg_{M_2} = 59.081^\circ$$

## (v) Langkah 5: perhitungan pembetulan amplitud

Dengan menggunakan formula (3.19), nilai pembetulan amplitud dihitung sebagai berikut:

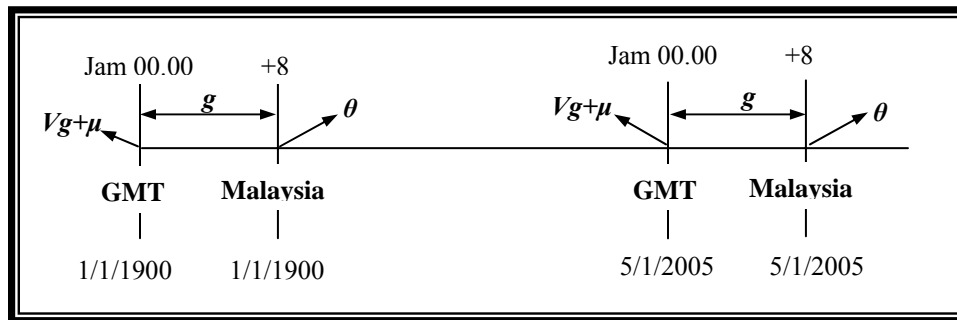
$$H_{M_2} = \frac{R_{M_2}}{f_{M_2}}$$

$$H_{M_2} = \frac{0.4555}{1.01540805} = 0.448488131$$

Demikian juga dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk pembetulan amplitud setiap juzuk pasang surut terpakai.

## (vi) Langkah 6: perhitungan susulan fasa

Daripada fasa yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan kaedah harmonik analisis dengan teknik pelarasan kuasa dua terkecil, perlu dilakukan pembetulan terhadap pasang surut keseimbangan, di mana akan diperolehi susulan fasa yang menjadi hasil akhir perhitungan. Adapun cara perhitungan yang digunakan oleh  $\mu$ -TAPS dalam menghitung susulan fasa adalah seperti ditunjukkan oleh Rajah 3.3. Selanjutnya, ditunjukkan contoh hitungan bagi nilai susulan fasa juzuk  $M_2$  ( $g_{M_2}$ ):



**Rajah 3.3:** Konsep hitungan susulan fasa

$$g_{M_2} = Vg_{M_2} + \mu_{M_2} - \theta_{M_2}$$

$$g_{M_2} = 59.081^\circ + (-1.956^\circ) - 129.263^\circ$$

$$g_{M_2} = -72.141^\circ = 287.859^\circ$$

Hal yang harus diperhatikan adalah operasi matematik di depan  $\theta_r$ , ianya boleh negatif maupun positif, bergantung pada persamaan awal yang digunakan pada analisis harmonik.

Bila,

$$h(t_n) = Zo + \sum_{r=1}^k R_r \cos(\omega_r t_n - \theta_r) \text{ menggunakan tanda operasi (+)}$$

dan bila,

$$h(t_n) = Zo + \sum_{r=1}^k R_r \cos(\omega_r t_n + \theta_r) \text{ menggunakan tanda operasi (-)}$$

Merujuk pada aturan di atas, diharapkan perhitungan tidak mengalami kesalahan.

Demikian langkah-langkah perhitungan pembetulan amplitud dan fasa, di mana hasil akhir dari perhitungan ini adalah nilai amplitud dan susulan fasa dari setiap juzuk pasang surut yang selanjutnya boleh digunakan untuk perhitungan aras-aras laut dan ramalan pasang surut. Pembetulan amplitud dan susulan fasa hanya dibuat sebanyak juzuk yang diperolehi dari proses perhitungan analisis. Oleh kerana semua langkah perhitungan bermula dari perhitungan jumlah hari dan masa yang bermula dari 1 Januari 1900, untuk menghindarkan daripada kesalahan besar maka perhitungan tersebut perlu mendapat perhatian secara khusus.

### 3.10 Kesimpulan

Kaedah analisis harmonik menggunakan kaedah pelarasan kuasa dua terkecil adalah perhitungan yang berterusan bermula dari penentuan juzuk pasang surut yang digunakan, berasaskan pada tempoh cerapan daripada data pasang surut hingga perhitungan kejitudan amplitud dan fasa sebagai komponen juzuk pasang surut.

Dalam perhitungan nilai fasa bagi setiap juzuk adalah operasi matematik (+) dan (-) pada perbandingan antara nilai  $A$  dan  $B$  menentukan letaknya sukuan pada koordinat matematik seperti yang telah dijelaskan. Bagi meminimumkan kesalahan, dibuat syarat-syarat khas yang menyatakan secara jelas aturan yang telah ditetapkan.

Proses perhitungan yang berterusan seperti paparan di atas adalah langkah perhitungan yang digunakan untuk membangun pengaturcaraan analisis pasang surut, sekaligus dilengkapi dengan pengujian hasil pelarasan kuasa dua terkecil ditinjau daripada kejitudan parameter yang dihasilkan melalui sisihan piawai dan perambatan selisih.

Teori hitungan faktor astronomi pula, adalah bahagian yang sangat penting dalam memberi pembetulan amplitud dan fasa yang telah dihasilkan daripada hitungan analisis harmonik menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil. Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan beza fasa dan pembetulan amplitud antara pasang surut keseimbangan dengan ciri-ciri (*characteristic*) tempatan, dimana ada perbezaan tempat dan waktu dengan Greenwich.

Sesuai dengan teori Laplace yang menyatakan, gelombang dari juzuk pasang surut keseimbangan selama perambatannya akan memperoleh gerak balas dari laut yang dilaluinya. Dalam hal ini amplitud mengalami perubahan (dibahagi dengan nilai  $f_r$ ) dan fasa juga akan mengalami keterlambatan (terbukti dengan perhitungan susulan fasa), namun halaju sudut setiap juzuk pasang surut sentiasa tetap. Perlu diketahui juga bahawa dalam penentuan susulan fasa ada beberapa teknik, tetapi yang terpenting adalah saat perhitungan ramalan akan diperolehi hasil yang sama.



## **BAB 4**

### **DISKRIPSI DATA DAN CERAPAN PASANG SURUT**

#### **4.1 Pendahuluan**

Pengukuran pasang surut adalah pekerjaan berterusan dimulai dari pemasangan alat, cerapan, analisis, penentuan juzuk dan aras-aras laut dan pemprosesan ramalan pasang surut. Pekerjaan tersebut saling berhubungan di mana, pemasangan alat dan cerapan pasang surut merupakan momentum awal yang sangat penting, kerana semakin baik dan teliti suatu alat diharapkan data cerapan pasang surut yang dihasilkan akan jitu juga.

Perkembangan alat tolok ukur pasang surut adalah cepat, bermula hanya dengan pemasangan pancang berupa kayu yang menyerupai penggaris dan pembacaan paras laut dilakukan oleh manusia, sehingga sekarang menggunakan sistem yang memanfaatkan

tekanan air dan data disimpan dalam rekod fail. Ini lebih memudahkan jurukur hidrografi dalam melakukan cerapan pasang surut.

Dengan pelbagai jenis alat tolok ukur pasang surut ini, perkara yang perlu diperhatikan adalah tingkat kejituan daripada alat itu sendiri. Dalam pemilihan alat, sudah pasti pemerhatian sejauh mana kejituan yang perlu dicapai daripada kajian yang akan dibuat. Disebabkan oleh hal yang demikian, maka bahagian ini secara khusus akan menguraikan jenis-jenis alat tolok ukur pasang surut, asas kerja alat, format data dan kejituan daripada data yang dapat diperolehi. Tujuan dari pemahaman terhadap permasalahan ini, diharapkan jurukur hidrografi dapat mempertimbangkan penggunaan alat tolok ukur disesuaikan dengan tingkat kejituan yang boleh dicapai.

#### **4.2 Jenis-Jenis dan Asas Penggunaan Tolok Ukur Pasang Surut**

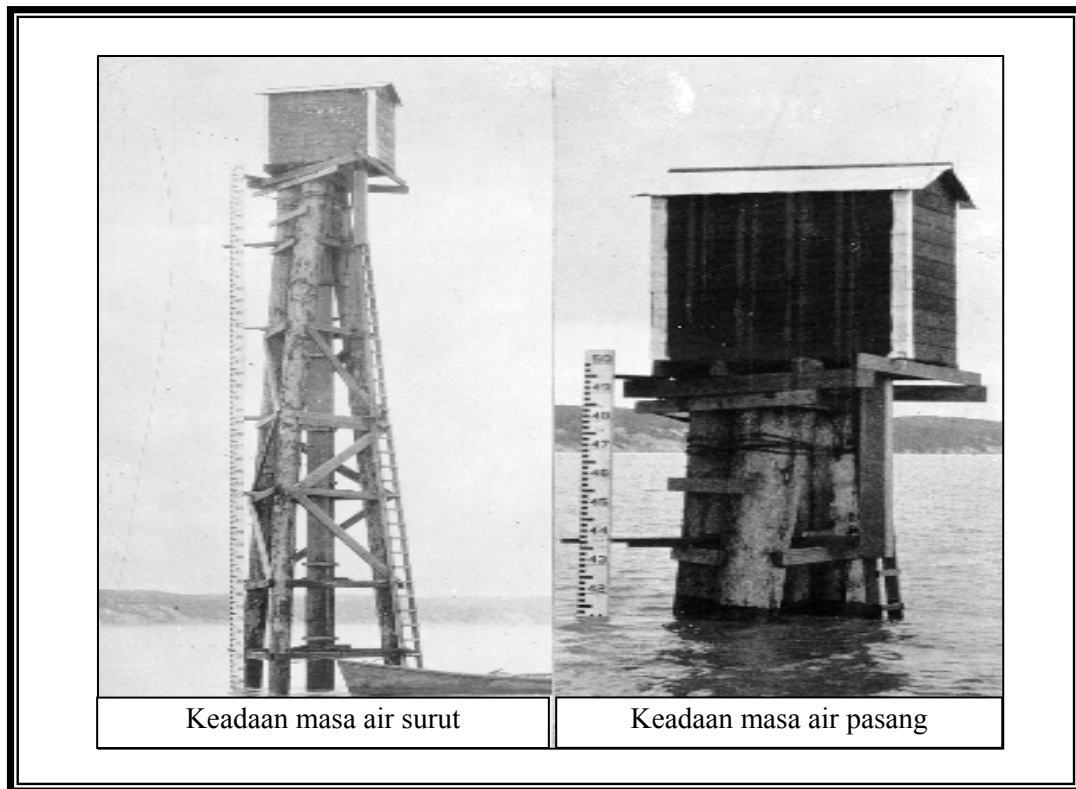
Pada dasarnya cerapan pasang surut dilakukan adalah untuk memperolehi tinggi air dengan epok tertentu secara berterusan. Oleh sebab itu alat tolok ukur pasang surut adalah alat yang mempunyai kemampuan mengukur tinggi air setiap tempoh masa yang ditentukan. Sekarang ini telah terdapat pelbagai jenis alat tolok ukur, tetapi pada dasarnya kaedah cerapan pasang surut dapat dibezakan menjadi dua jenis meliputi:

- (i) Secara manual menggunakan pancang pasang surut.
- (ii) Secara automatik menggunakan tolok ukur automatik.

Seperti yang telah diketahui, cerapan secara manual biasanya menggunakan pancang pasang surut dan mempunyai ciri khas sebagai berikut:

- (i) Pembacaan dilakukan secara langsung.
- (ii) Mempunyai besi nipis atau papan yang bersengat (unit meter atau desimeter) yang dapat dibaca.
- (iii) Didirikan dalam keadaan tegak di tempat cerapan.
- (iv) Kedudukannya mestilah meliputi julat pasang surut di mana takat sifar sebaiknya dipasang pada datum.
- (v) Pembetulan adalah diperlukan sekiranya kedudukan sifar pancang adalah tidak pada datum.
- (vi) Boleh memberikan bacaan negatif bagi pengukuran di bawah datum. (paras kering).
- (vii) Bacaan pasang surut diambil secara manual oleh seorang pencerap sepanjang kerja hidrografi dijalankan.
- (viii) Kegunaannya hanya terbatas bagi pengukuran hidrografi di kawasan pelabuhan dan pinggir laut sahaja.

Bila diperhatikan keadaan seperti ini, amat menyusahkan pencerap dalam melakukan cerapan pasang surut. Di samping itu pekerjaan menjadi tidak efisien dan memerlukan masa kerja sepanjang tempoh cerapan yang dilakukan. Pada kenyataannya, alat ini sudah jarang digunakan, kerana sistem kerja yang kurang praktis. Rajah 5.1 menunjukkan salah satu contoh pemasangan pancang pasang surut.



**Rajah 4.1:** Pancang pasang surut

(Sumber: Historical Tide Gauge at Anchorage, Alaska, 1998)

Banyaknya kelemahan tolok ukur manual, menimbulkan suatu pemikiran yang lebih maju dengan mengembangkan teknologi digital, dengan penciptaan alat tolok ukur automatik. Dengan adanya alat tersebut lebih memudahkan dalam pemasangan dan tidak memerlukan kehadiran pencerap setiap masa untuk merekod data. Terdapat empat jenis tolok ukur automatik dengan asas kerja yang berbeza meliputi:

- (i) Tolok ukur automatik menggunakan pelampung.
- (ii) Tolok ukur automatik menggunakan tekanan sensitif.
- (iii) Tolok ukur automatik menggunakan tekanan membran.
- (iv) Tolok ukur automatik menggunakan tekanan gelembung atau gas.

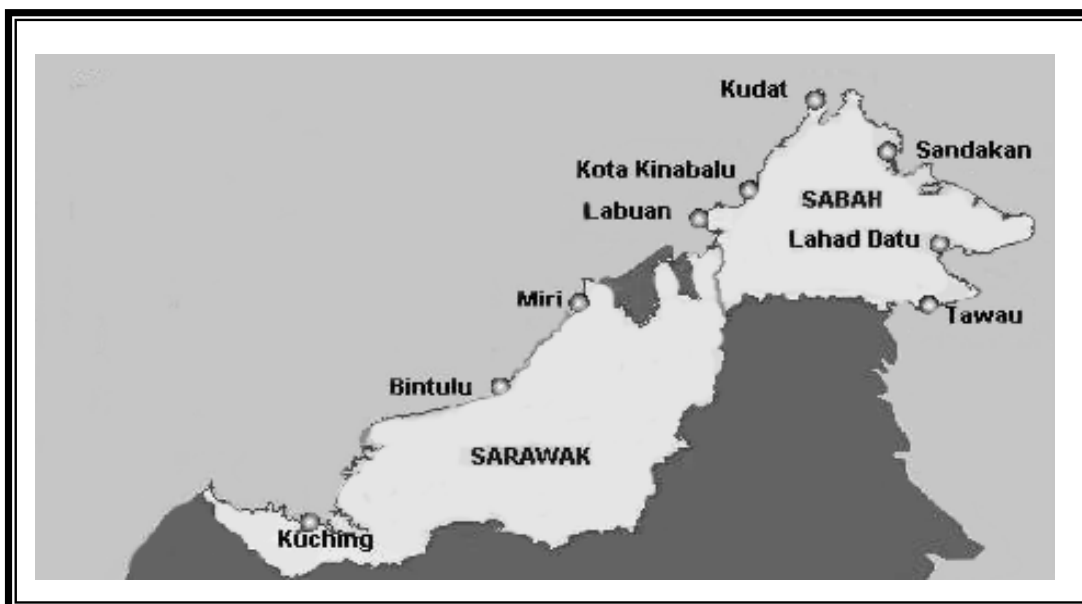
Dua jenis tolok ukur automatik yang terakhir kurang dikembangkan. Tolok ukur pasang surut automatik menggunakan pelampung merekod naik dan turunnya air dengan cara meletakkan pelampung di atas permukaan air yang dihubungkan dengan alat pasang surut sama ada daripada jenis graf atau media simpanan digital. Secara umum ciri daripada tolok ukur tersebut adalah sebagai berikut:

- (i) Tolok pasang surut jenis telaga penenang.
- (ii) Menggunakan telaga air pasang surut di mana satu pelampung ditempatkan di dalam telaga tersebut supaya pergerakan turun naik air laut dapat disalur menggunakan tiub pengalir.
- (iii) Data pasang surut direkod berdasarkan naik-turun naik pelampung tadi yang dihubungkan dengan alat pasang surut sama ada daripada jenis graf atau media simpanan digital.

Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) menggunakan tolok ukur pasang surut jenis pelampung model *Kyowa Shoko DFT-1 Floating Tide Gauge* yang dipasang merangkumi wilayah Semenanjung, Sabah dan Sarawak seperti pada Rajah 4.2 dan Rajah 4.3 yang menggambarkan penyebaran stesen pasang surut di Malaysia. Rajah 4.4 pula adalah contoh salah satu stesen pasang surut di Kukup yang menggunakan jenis tolok ukur pelampung. Alat ini memiliki julat pengukuran kosong meter hingga tujuh meter dengan kadar kejituan  $\pm 0.1$  peratus daripada julat terukur. Peralatan ini pertama kali dipasang di Pelabuhan Klang pada Disember 1983 dengan kerjasama *Japanese International Cooperation Agency (JICA)*.



**Rajah 4.2:** Stesen-stesen pasang surut di Semenanjung Malaysia  
(Sumber: Laman web JUPEM)

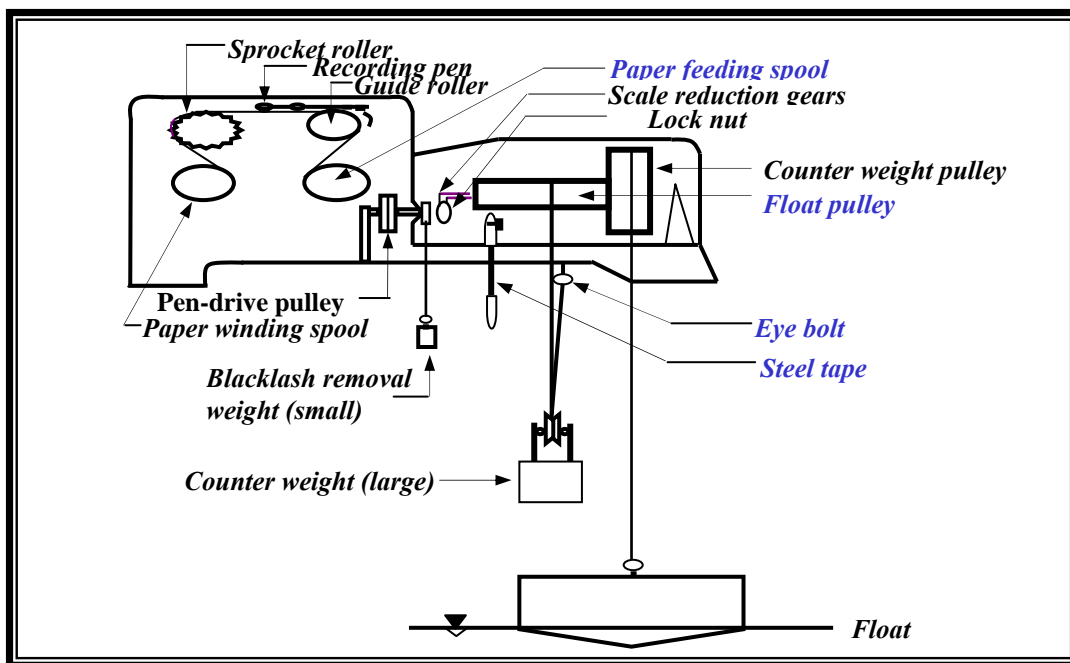


**Rajah 4.3:** Stesen-stesen pasang surut di Sabah dan Sarawak, Malaysia  
(Sumber: Laman web JUPEM)



**Rajah 4.4:** Stesen pasang surut JUPEM di Kukup, Johor  
(Sumber: Laman web JUPEM)

Contoh lain dari jenis tolok ukur menggunakan kaedah pelampung seperti dalam Rajah 4.5, di mana model alat ini adalah DFT-1.



**Rajah 4.5 :** Tolok pasang surut jenis DFT-1

Selain daripada jenis yang menggunakan pelampung, jenis lain yang banyak di pasaran sekarang ini adalah tolok ukur menggunakan kaedah tekanan air. Hal yang menjadi ciri khas pada tolok ukur memanfaatkan tekanan air adalah sebagai berikut:

- (i) Unit penerima tekanan dipasang di dasar laut menggunakan tiub pengalir ke alat pasang surut untuk direkodkan.
- (ii) Data direkodkan pada kertas graf atau media simpanan digital.
- (iii) Perubahan naik-turun aras permukaan air laut akan dirakam berdasarkan kepada perubahan dalam tekanan air di dasar laut yang terjadi akibat turun naik aras permukaan air laut.

Antaranya adalah produk dari *Valeport* dan *Global Water*. Rajah 4.5 dan Jadual 4.1 adalah rekabentuk dan spesifikasi dari *Valeport tide gauge*, sedangkan Rajah 4.6 dan Jadual 4.2 adalah rekabentuk dan spesifikasi dari *Global Water* jenis *WL15X WATER LEVEL LOGGER*.





**Rajah 4.5:** *Valeport tide gauge*

**Jadual 4.1:** Spesifikasi tolok pasang surut *Valeport*

Sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dibuat daripada besi tahan karat.</li> <li>▪ Julat pengukuran 0 – 10 meter kedalaman.</li> <li>▪ Kejituan <math>\pm 0.1</math> % daripada skala penuh.</li> <li>▪ Dimensi 18 milimeter x 80 milimeter.</li> </ul>
Sistem	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rumah dibuat daripada aluminium anti air.</li> <li>▪ Menggunakan 4 bateri 1.5 volt alkalin yang mampu bertahan selama 900 hari dengan epok 20 minit.</li> <li>▪ Memori yang digunakan sebesar 128 kilobait, mampu menyimpan data sebanyak 65000 rekod data.</li> <li>▪ Dimensi rumah 47 mm x 110 mm x 235 mm.</li> <li>▪ Berat 1.7 kilogram termasuk bateri.</li> </ul>



**Rajah 4.6**     *Global Water jenis WL15X WATER LEVEL LOGGER*  
(Sumber: *Global Water Instrumentation Inc.*, 2004)

**Jadual 4.2:**     Spesifikasi tolok pasang surut *Global Water*

Paparan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peralatan mudah dioperasikan.</li> <li>▪ Perisian untuk pencerapan data mudah dioperasikan.</li> <li>▪ Data boleh ditukar dalam format <i>Excel</i>.</li> <li>▪ Tak perlu mengatur sensor lagi saat pencerapan dan ganti bateri.</li> <li>▪ Memiliki kejitian yang tinggi dalam mengukur tinggi air.</li> <li>▪ Julat pasang surut yang boleh direkod antara 3' hingga 250'.</li> <li>▪ Pengubahan epok cerapan, rekod data dilakukan dengan mudah</li> <li>▪ Julat minimal untuk air cetek 0'-3'.</li> <li>▪ Tekanan barometrik dilakukan secara automatik.</li> </ul>
Sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensor dibuat dari membran silikon.</li> <li>▪ Julat yang dapat diukur : 0-3', 0-15', 0-30', 0-60', 0-120', 0-250'.</li> <li>▪ Kejitian <math>\pm 0.1\%</math> daripada skala penuh dan <math>\pm 0.2\%</math> bila suhu antara 35° F-70° F.</li> <li>▪ Pembetulan tekanan barometrik dilakukan secara automatik.</li> </ul>
Sistem	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Data yang direkod mampu disimpan hingga 24400 data atau setara dengan 270000 bait.</li> <li>▪ Bateri yang digunakan litium 9 volt, dan dapat dipakai selama 3 tahun tergantung pada epoh cerapan.</li> <li>▪ Perhitungan masa dapat diselaraskan dengan komputer.</li> <li>▪ Kejitian masa adalah 0.0015%.</li> </ul>

### 4.3 Asas Pemasangan Alat Tolok Ukur Pasang Surut

Pemasangan tolok ukur pasang surut hendaklah dilakukan secara berhati-hati. Perkara yang harus diperhatikan adalah julat air dan letak daripada aras laut min. Biasanya sebelum melakukan pemasangan alat, dilakukan terlebih dahulu pengukuran aras dari stesen rujukan ke tempat dilakukan pemasangan tolok ukur pasang surut. Ini dilakukan untuk mendapatkan nilai aras laut min bagi pemasangan tolok ukur yang betul. Berikut ini adalah perkara penting dan harus diperhatikan dalam pemilihan tapak bagi pemasangan tolok ukur pasang surut:

- (i) Berhampiran dengan kawasan pengukuran hidrografi (bagi keperluan pengukuran hidrografi).
- (ii) Stesen pasang surut dapat dibina dengan mudah serta secara kekal.
- (iii) Sensor daripada tolok ukur mestilah sentiasa berada di bawah permukaan air.
- (iv) Didirikan di kawasan terlindung dan selamat.
- (v) Tidak didirikan di kawasan takungan air. Air akan bertakung jika dipisahkan daripada laut lepas oleh beting pasir apabila air surut. Air tidak akan turun ke paras sebenar.
- (vi) Kawasan yang stabil. Stesen tidak didirikan di kawasan yang mudah tenggelam dan penuh dengan kelodak.
- (vii) Bacaan mestilah mudah diambil pada sebarang keadaan serta berhampiran dengan kawasan penginapan pencerap (bila menggunakan pancang pasang surut).

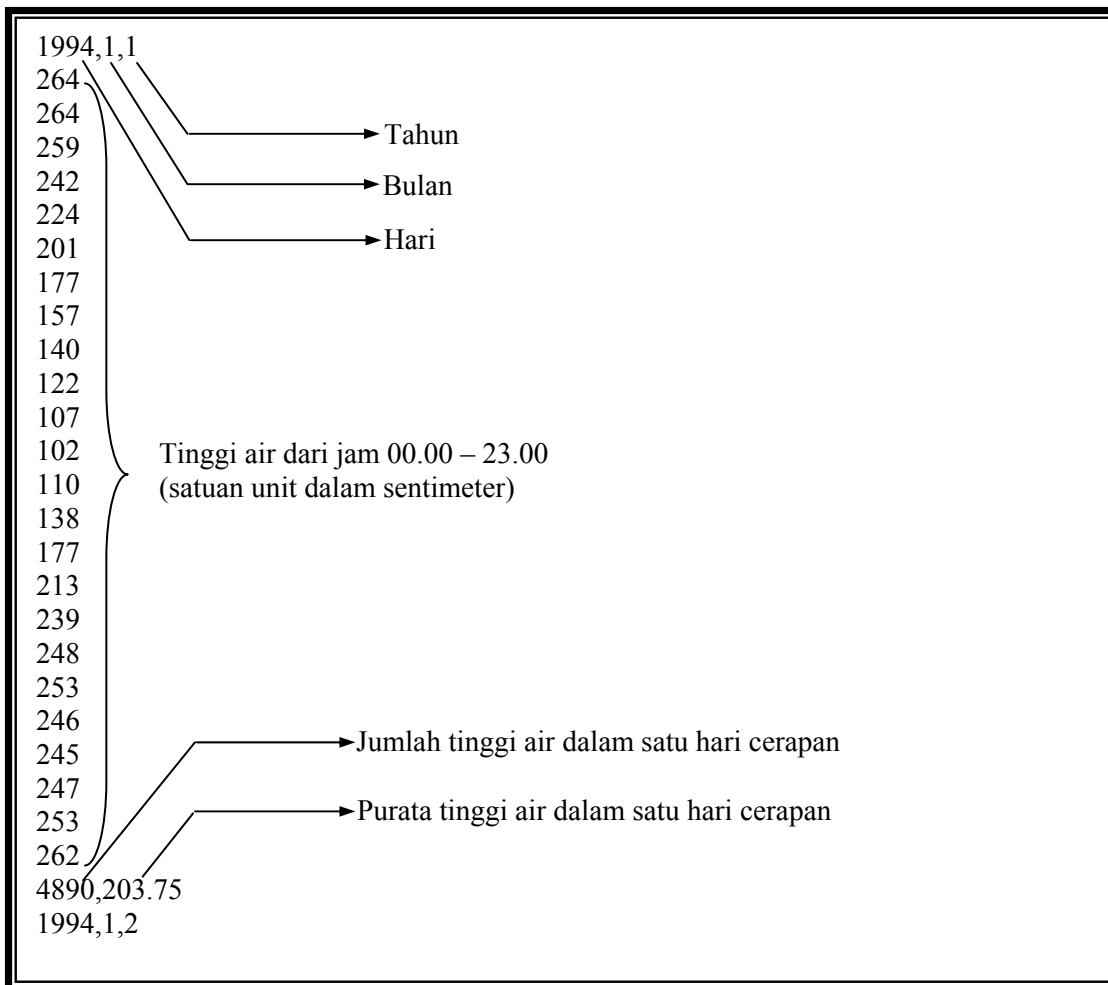
(viii) Kawasan yang mudah mendapat bekalan elektrik (tolok pasang surut).

Dengan pemilihan tersebut, diharapkan pemasangan tolok ukur pasang surut dapat mengelak daripada semua kebarangkalian yang mengakibatkan gangguan selama proses cerapan berlaku.

#### **4.4 Rekod Data Tolok Ukur Pasang Surut**

Setiap alat tolok ukur pasang surut memiliki format data rekod yang berlainan. Walaupun pada hakikatnya data yang direkod memiliki nilai pemboleh ubah yang sama, akan tetapi berbeza dari segi format penyusunan data. Dalam kajian ini, data yang digunakan adalah data yang dihasilkan oleh *Kyowa Shoko DFT-1 Floating Tide Gauge* yang digunakan oleh JUPEM, *Valeport* dan *Global Water* maka pada sub bab ini akan dipaparkan ciri-ciri daripada ketiga-tiga format data tersebut.

JUPEM yang menjadi sumber data cerapan pasang susut, dengan alat jenis *Kyowa Shoko DFT-1 Floating Tide Gauge* sudah tentu memiliki format tersendiri dalam menyimpan data hasil cerapan yang dilakukan dalam tempoh waktu tertentu. Pemboleh ubah yang pasti ada adalah tarikh, masa dan tinggi air terhadap nilai kosong daripada tolok ukur. Adapun susunan format data dalam bentuk fail daripda alat tersebut adalah seperti dalam Rajah 4.7.



**Rajah 4.7:** Deskripsi format data yang direkod oleh *Kyowa Shoko DFT-1 Floating Tide Gauge*

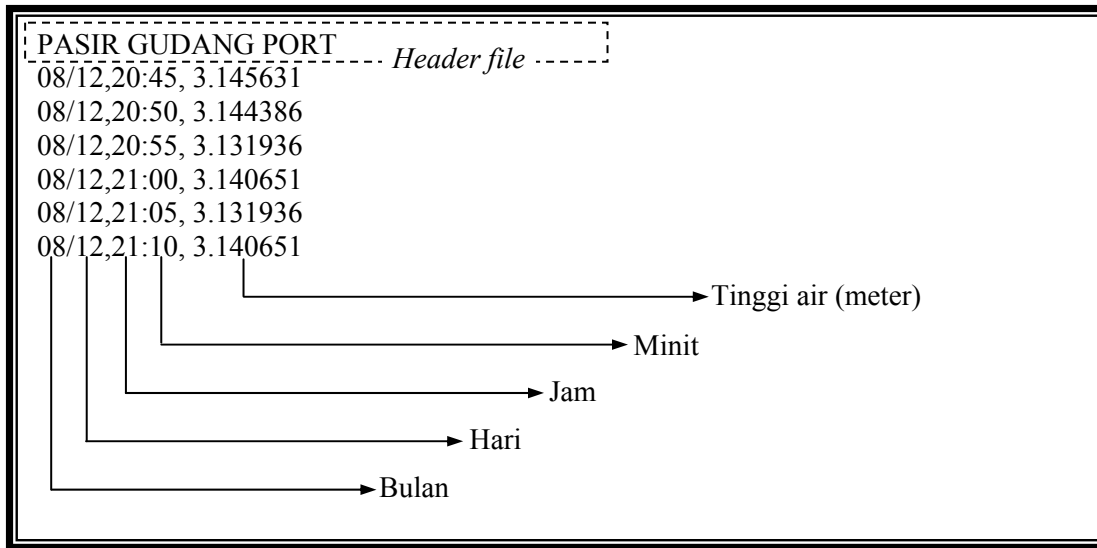
Selain daripada itu, *Valeport* sebagai salah satu jenis tolok ukur pasang surut automatik juga memiliki format data yang berbeza dengan yang lain. Di samping nilai tarikh, masa dan tinggi paras air, di dalam fail juga dilengkapi dengan *header* fail berupa keterangan lokasi dan sebagainya. Rajah 5.9 akan memberikan huraian mengenai semua nilai pemboleh ubah yang ada pada fail rekod tolok ukur *Valeport*.

File header created by: TIDELOG on 13-Jan-2004 09:12:58		
Filename: CAL.002		
Pressure calibration: $P = 12 - 3.9526606e-12 + 2.0187302e-04 - 1.1494800e+00$		
Battery voltage: 5.74		
VLR740 Serial number: 1096		
Transducer serial number: 1223246		
File number: 2		
Burst Cycle Time(mins): 10		
Burst Length (secs): 30		
filetime :09-Sep-2003 15:09:30		
"Site_info: Pangkalan Hadapan, Semporna"		
Secondary cal type: None		
Depth units: Dbar		
Secondary Gain coeff: 1		
Secondary offset: 0		
Date	Time	Pressure
		Dbar
----- Header file -----		
09/09/2003	15:10:00	1.502853
09/09/2003	15:20:00	1.549259
09/09/2003	15:30:00	1.590621
09/09/2003	15:40:00	1.634404
09/09/2003	15:50:00	1.680608
09/09/2003	16:00:00	1.745575
09/09/2003	16:10:00	1.816997
09/09/2003	16:20:00	1.8862

**Rajah 4.8:** Deskripsi format data yang direkod oleh tolok pasang surut *Valeport*

*Global Water* adalah peralatan tolok pasang surut yang dicipta oleh syarikat *Global Water Inc.* dengan rekabentuk yang sederhana dan memiliki format rekod data

berupa teks fail yang boleh juga diubah dalam fail format perisian *Excel*. Secara umum bentuk format fail adalah seperti dalam Rajah 5.10.



**Rajah 4.9:** Deskripsi format data yang direkod oleh tolok pasang surut *Global Water*

## 4.5 Kesimpulan

Bagi menghasilkan data cerapan pasang surut yang jitu, perlu diperhatikan alat tolok ukur yang digunakan dalam pengukuran. Semakin tinggi kejituan yang diharapkan, maka alat yang digunakan pun haruslah memenuhi spesifikasi tersebut. Selain daripada itu, dalam pemasangan alat hendaklah mengkaji keadaan di mana alat tolok ukur akan ditempatkan. Keadaan yang dicadangkan adalah sesuai dengan diuraikan yang telah diberikan pada pemasangan tapak pasang surut.

Setiap alat tolok ukur memiliki format data yang khusus. Oleh sebab itu perlu diperhatikan susunan data tersebut sama ada sesuai dengan data input yang digunakan oleh

perisian atau pengaturcaraan pada saat melakukan perhitungan analisis. Bila hal ini diabaikan, maka akan terjadi kesalahan yang besar dalam proses perhitungannya.  $\mu$ -TAPS sebagai pengaturcaraan yang digunakan untuk menyelesaikan analisis pasang surut telah dilengkapi dengan menu khas untuk menukar data dari alat tolok ukur Kyowa Shoko DFT-1 Floating Tide Gauge yang digunakan oleh JUPEM, Valeport dan Global Water. Dengan demikian permasalahan ketidaksesuaian format data dapat diselesaikan.



## **BAB 5**

### **PENGATURCARAAN $\mu$ -TAPS UNTUK ANALISIS DAN RAMALAN PASANG SURUT**

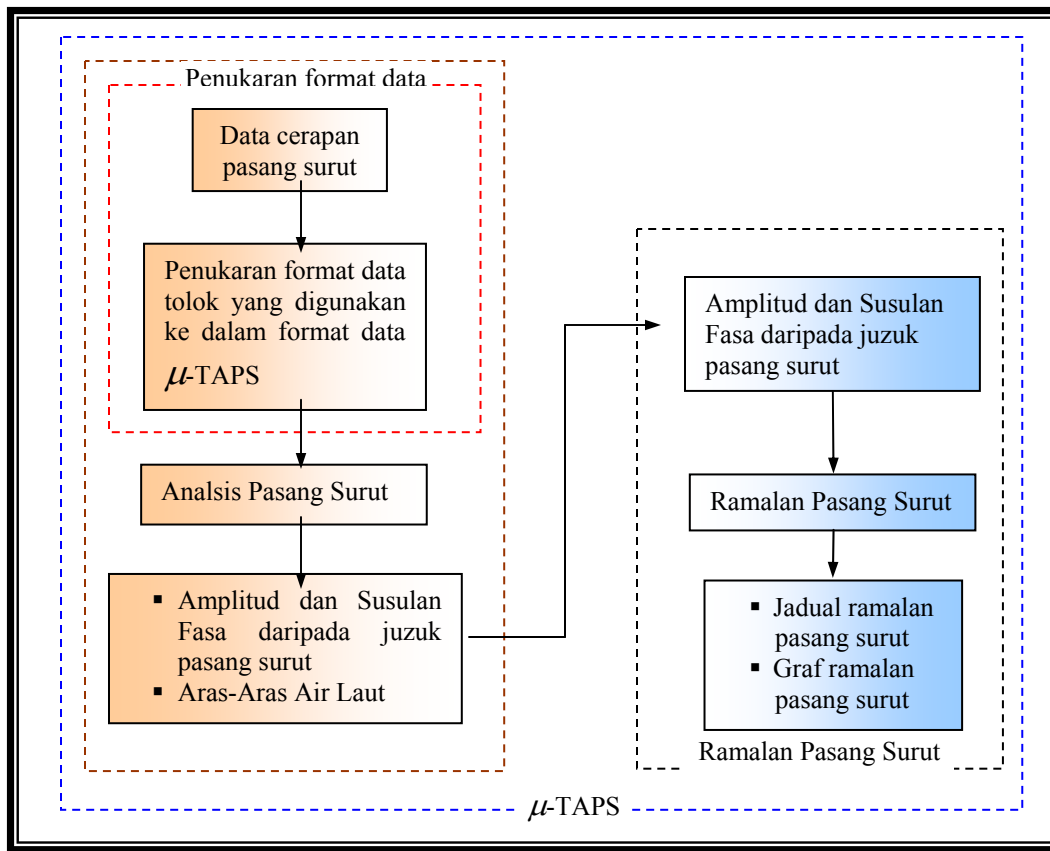
#### **5.1 Pendahuluan**

Dengan memanfaatkan perkembangan teknologi komputer yang sedia ada sekarang ini, semua perhitungan yang rumit boleh diselesaikan dalam bentuk pengaturcaraan. Oleh hal yang demikian, perhitungan analisis harmonik menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil dan proses ramalan pasang surut yang melibatkan banyak matriks dan operasi matriks dalam dimensi besar, akan menjadi mudah bila memanfaatkan kecanggihan teknologi komputer. Berasaskan pemahaman yang diperolehi dari teori, formula dan teknik hitungan daripada analisis harmonik menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil, maka kajian ini telah menghasilkan pengaturcaraan bagi menyelesaikan proses perhitungan secara automatik.

Pengaturcaraan ini dinamakan Universiti Teknologi Malaysia - Tidal Analysis and Prediction Software ( $\mu$ -TAPS). Dengan pembangunan pengaturcaraan tersebut diharapkan dapat memudahkan pengguna, mengecilkan kesalahan akibat kesalahan manusia, dan efisien daripada segi waktu dalam perhitungan analisis dan proses ramalan pasang surut.

## **5.2 Asas Pembangunan Pengaturcaraan $\mu$ -TAPS**

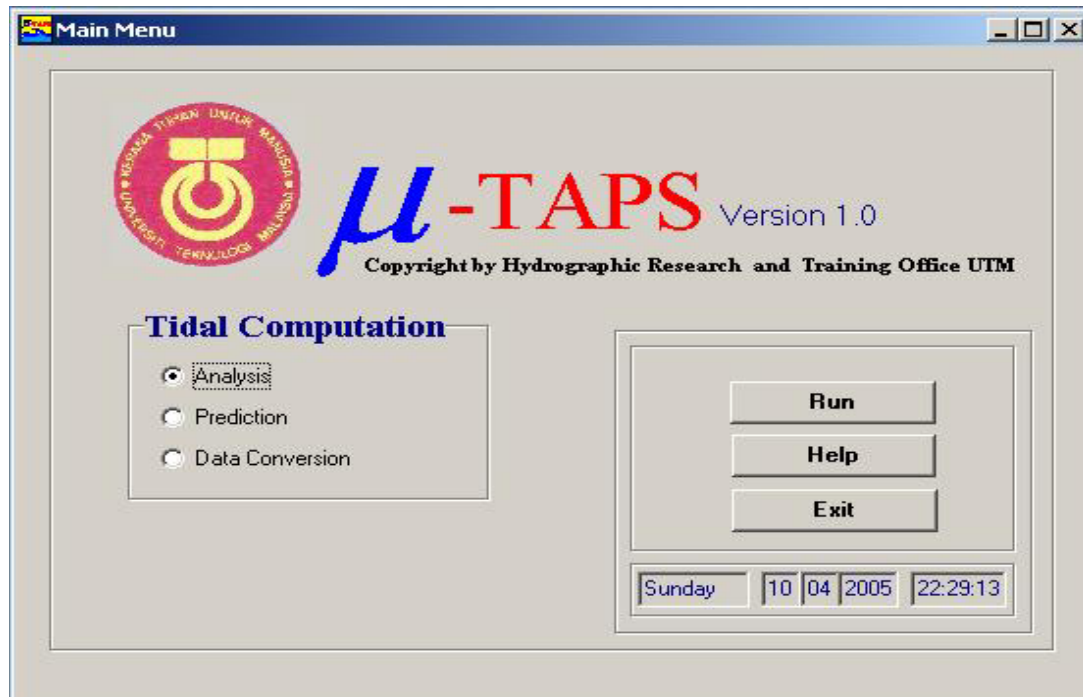
Pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS merupakan pengaturcaraan yang dibuat dengan tujuan menyelesaikan perhitungan analisis dan membuat ramalan pasang surut daripada data cerapan pasang surut mulai dengan tempoh cerapan pendek sehingga tempoh cerapan yang panjang. Bagaimanapun perhitungan yang akan dilakukan adalah tergolong berat. Kerana data yang banyak, operasi matrik dengan dimensi besar dan proses pengurutan data ramalan selama 18.6 tahun bagi memperolehi nilai minimum untuk LAT dan nilai maksimum iaitu HAT. Secara umumnya, deskripsi pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS dapat dijelaskan seperti carta alir berikut ini:



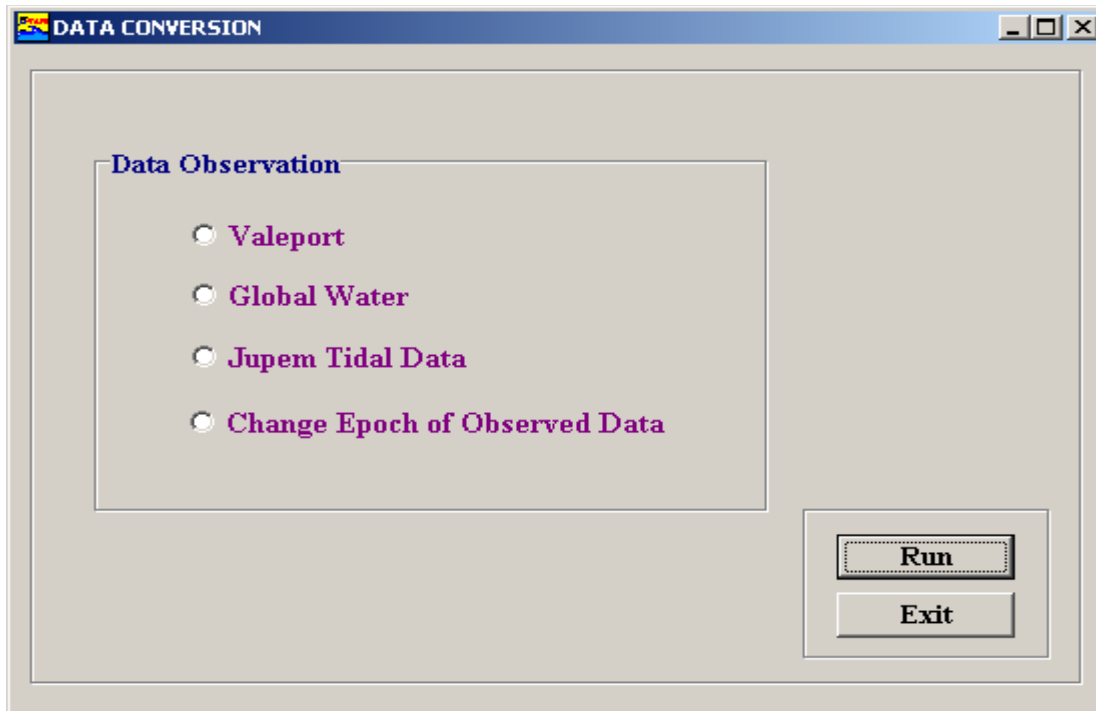
**Rajah 5.1** Asas pembangunan pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS

### 5.3 Format Data Pasang Surut Dengan Perisian $\mu$ -TAPS

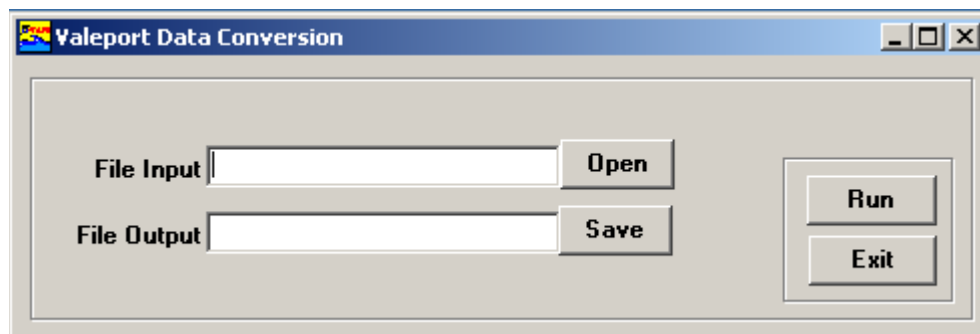
Data cerapan pasang surut dapat diperolehi dengan melakukan pengukuran yang berlainan menggunakan pelbagai alat tolok ukur. Seperti yang dijelaskan pada Bab 4, dengan jenis alat tolok ukur dari yang manual sampai dengan automatik format rekod data yang berbeza-beza. Penulis telah berusaha untuk mengurangkan masalah tersebut satu perisian  $\mu$ -TAPS telah digunakan untuk melakukan penukaran format data dari setiap tolok ukur kepada format data yang diperlukan oleh  $\mu$ -TAPS. Perisian ini mampu melakukan penukaran data dari data Valeport, Global Water dan data JUPEM ke dalam format  $\mu$ -TAPS.



**Rajah 5.2:** Visual daripada menu utama



**Rajah 5.3:** Visual menu penukaran format data ke  $\mu$ -TAPS



**Rajah 5.4:** Visual sub menu penukaran format data Valeport ke  $\mu$ -TAPS

#### 5.4 Pemprosesan dan Ramalan Pasang Surut Dengan Perisian $\mu$ -TAPS

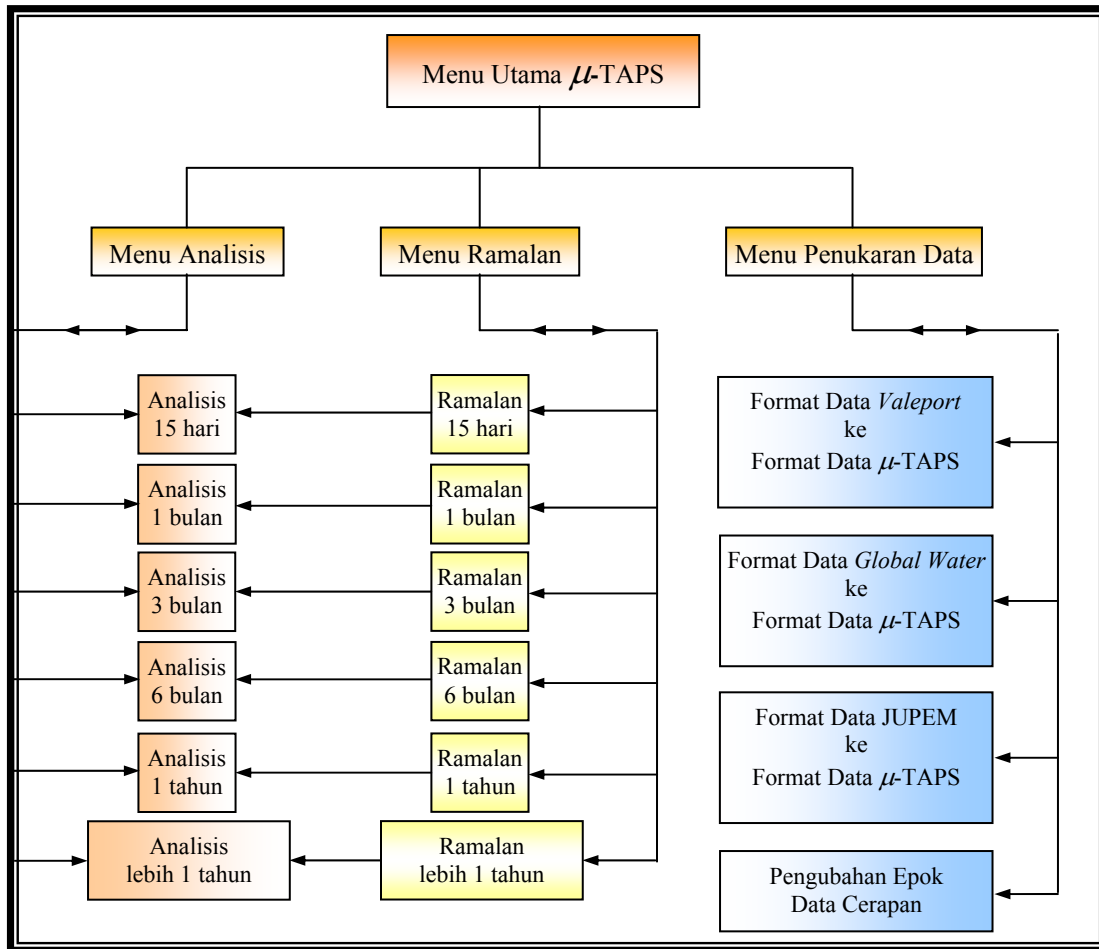
Sebaik sahaja data ditukar dalam format  $\mu$ -TAPS, pemprosesan data pasang surut boleh dilakukan. Proses tersebut merangkumi proses analisis pasang surut dan diikuti

dengan ramalan pasang surut. Dalam analisis pasang surut, data pasang surut akan menjadi kunci untuk mendapat hasil proses, di mana perkara yang perlu dipertimbangkan pada akhir proses analisis adalah nilai juzuk-juzuk pasang surut daripada data itu. Selepas nilai juzuk-juzuk pasang surut dieprolehi, nilai tersebut akan digunakan dalam proses ramalan pasang surut. Perisian  $\mu$ -TAPS telah menyediakan hasil proses analisis dalam satu fail yang bernama Constituent. Fail inilah yang akan dimasukkan semula ke dalam perisian  $\mu$ -TAPS sebagai fail input untuk ramalan pasang surut lalu diproses mengikut kehendak dan arahan pengguna.

## **5.5 Hubungan Antara Menu dan Sub Menu**

Oleh kerana banyaknya menu yang terdapat pada pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS, adalah perlu mengetahui hubungan antara menu utama, menu pilihan dan sub menu yang ada di bawahnya. Perkara ini sangatlah penting, kerana akan memudahkan dalam pengoperasian pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS itu sendiri.

Seperti yang telah dijelaskan, menu utama terdiri dari tiga pilihan menu meliputi: menu analisis, menu ramalan dan menu penukaran data, di mana menu-menu tersebut memiliki fungsi seperti yang dhuraikan pada sub bab di atas. Berikut ini akan ditinjau hubungan secara menyeluruh tentang semua komponen yang ada dalam pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS. Hubungan ini akan menunjukkan fungsi operasi berkaitan dengan sistem yang telah dibangunkan. Carta alir pada Rajah 5.5 berikut ini akan menunjukkan hubungan yang dimaksudkan.



**Rajah 5.5 :** Hubungan menu-menu pada pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS

## 5.6 Kesimpulan

$\mu$ -TAPS merupakan aplikasi daripada kaedah analisis harmonik menggunakan teknik pelarasan kuasa dua terkecil dalam bentuk suatu pengaturcaraan. Pembangunan pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS ini telah mengambil kira semua aspek bagi memudahkan pengguna dalam melakukan operasi. Oleh sebab itu, sistem operasi daripada pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS dibuat dalam reka bentuk tetingkap yang interaktif dan mudah difahami. Pengaturcaraan ini juga menyediakan kemudahan dalam melakukan penukaran data ke dalam formatnya dari

beberapa data cerapan yang dihasilkan oleh alat tolok ukur Valeport, Global Water dan JUPEM Tide Gauge ke dalam format yang diperlukan untuk perhitungan analisis.

Selain daripada itu, hasil awal perhitungan yang telah disajikan dalam bentuk graf, dapat memberikan petunjuk pada pengguna dalam melihat adanya kesalahan kasar pada data cerapan, sehingga pengguna dapat melakukan pembetulan pada data cerapan melalui fail filter yang sudah disediakan untuk mengatasi masalah tersebut. Secara ilmiah, kejituan daripada hasil perhitungan telah juga diberikan iaitu berupa sisihan piawai, sisihan perambatan dari setiap juzuk yang dihitung. Dengan demikian, diharap kejituan daripada setiap juzuk boleh diketahui dan hasil ramalan dapat dilihat tingkat kejituannya.

Secara keseluruhannya, pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS telah merangkumi pelbagai segi yang diperlukan dalam melakukan penukaran data, analisis dan membuat ramalan pasang surut.



## **BAB 6**

### **KEPUTUSAN DAN ANALISIS**

#### **6.1 Pendahuluan**

Hasil yang telah dicapai dari suatu proses pemahaman terhadap teori kaedah analisis harmonik menggunakan pelarasan kuasa dua terkecil yang kemudian diaplikasikan dalam suatu reka bentuk pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS merupakan bahagian terpenting dalam kajian ini. Hasil yang diperolehi bagi setiap peringkat analisis yang dilaksanakan dapat dijadikan sebagai ukuran terhadap sejauh mana kejayaan kajian ini di dalam memenuhi objektif dan skop kajian yang telah dirancang.

Secara keseluruhannya, tahap analisis yang dilaksanakan pada penelitian ini merupakan kajian terhadap hasil yang diperolehi dari pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS berbanding hasil dari perisian yang sedia ada dan telah digunakan oleh TLDM. Adapun secara khusus analisis yang dilaksanakan meliputi perkara-perkara berikut:

- (i) Ujian prestasi bagi hasil hitungan pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS dibandingkan terhadap hasil perisian yang digunakan oleh TLDM seperti termuat pada Jadual Ramalan Pasang Surut 2005 dan 2006 yang sedia ada.
- (ii) Mempelajari fenomena dan jenis pasang surut di perairan Semenanjung Malaysia.

## **6.2 Ujian Prestasi $\mu$ -TAPS**

Bagaimanapun, untuk menghasilkan set data ramalan pasang surut yang berkualiti, perisian  $\mu$ -TAPS diuji kejituan dan ketepatannya sebelum ini walaupun kajian telah dilakukan dalam kajian lepas. Berikut adalah hasil perbandingan antara hasil ramalan  $\mu$ -TAPS dengan ramalan pasang surut dari jadual pasang surut UTM dan RMN.

Usaha untuk menguji prestasi perisian  $\mu$ -TAPS telah dilakukan untuk mendapatkan perbezaan nilai ramalan memandangkan perisian ini digunakan untuk membuat segala ramalan pasang surut dalam kajian ini.

### **6.2.1 Hasil Analisis Pasang Surut Bagi Data Cerapan di Stesen Johor Bahru Menggunakan $\mu$ -TAPS**

Data hasil cerapan di stesen Johor Bahru yang diproses oleh  $\mu$ -TAPS adalah data dengan tempoh cerapan lima tahun, mulai dari tahun 1996 hingga tahun 2000. Adapun hasil analisis adalah seperti berikut:

- (i) Nilai F sama dengan 0.508.
- (ii) Jenis pasang surut adalah pasang surut bercampur, separuh harian dominan (*mixed, mainly semi diurnal*)
- (iii) Sisihan piawai tinggi air cerapan adalah 0.082 meter.
- (iv) Aras-aras laut dengan menggunakan datum carta LAT dan ISLW serta 64 juzuk-juzuk pasang surut telah dihitung (sila lihat LAMPIRAN C).

### 6.3 Perbandingan Hasil Analisis Pasang Surut

Dalam melakukan ujian prestasi terhadap analisis pasang surut oleh  $\mu$ -TAPS, maka perlu dilakukan perbandingan dengan perisihan yang sudah sedia ada dan digunakan di Malaysia. Dalam perkara ini, hasil analisis pasang surut yang telah perolehi bagi tempoh empat bulan telah dibandingkan dengan Jadual Ramalan Pasang Surut 2005 dan 2006 yang diterbitkan oleh TLDM.

Ada beberapa perkara yang perlu diperhatikan sebelum melakukan perbandingan iaitu:

- (i) Datum carta yang digunakan di mana, JUPEM menggunakan ISLW sebagai datum carta, sedangkan TLDM menggunakan datum carta LAT. Adapun  $\mu$ -TAPS dalam melakukan hitungan analisis boleh menghasilkan kedua-dua datum carta tersebut.
- (ii) Perbezaan dalam penentuan jenis pasang surut antara JUPEM dan TLDM. Walaupun formula yang digunakan sama tetapi JUPEM membahagi jenis pasang surut kepada empat katagori dan TLDM hanya membahagi jenis pasang surut menjadi dua kategori sahaja.

Formula yang digunakan: 
$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2}$$

Pembahagian jenis pasang surut yang digunakan oleh JUPEM:

- $0 < F \leq 0.25$  ..... pasang surut separuh harian.
- $0.25 < F \leq 1.5$  .... pasang surut bercampur, separuh harian dominan.
- $1.5 < F \leq 3.0$  ..... pasang surut bercampur, harian dominan.
- $F > 3.0$  ..... pasang surut harian.

Pembahagian jenis pasang surut yang digunakan oleh TLDM:

- $F \leq 0.5$  ..... pasang surut separuh harian.
- $F > 0.5$  ..... pasang surut harian.

$\mu$ -TAPS dalam pembahagian jenis pasang surut menggunakan aturan yang sama dengan yang digunakan oleh JUPEM.

Dengan pertimbangan tersebut, maka dalam melakukan perbandingan hasil analisis pasang surut iaitu perbandingan hasil analisis pasang surut antara UTM dengan TLDM .

Selain daripada itu, semua hasil analisis pasang surut antara  $\mu$ -TAPS dengan TLDM meliputi datum carta, dan lain-lain maklumat adalah berasaskan tempoh cerapan data yang berlainan dengan data yang digunakan dalam kajian ini. Adapun, tempoh cerapan dan waktu cerapan data telah di jelaskan pada setiap jadual pada kolom tempoh cerapan.

### 6.3.1 Perbandingan Hasil Analisis Pasang Surut Antara $\mu$ -TAPS Dengan TLDM Bagi Stesen Pasang Surut Johor Bahru

**Jadual 6.1:** Perbezaan datum carta (LAT), jenis pasang surut dan sisihan piawai bagi stesen pasang surut Johor Bahru

Perisian	Datum Carta (Zo) meter	F	Jenis Pasang Surut	Sisihan Piawai (meter)	Tempoh Cerapan
$\mu$ -TAPS	2.160	0.508	Bercampur, separuh harian dominan	0.082	1996-2000 (5 tahun)
TLDM	2.16	0.506	Separuh harian	0.107	1984-1998 (13 tahun)
Selisih	0.000				

**Jadual 6.2:** Perbezaan nilai juzuk utama  $\mu$ -TAPS dengan TLDM bagi stesen pasang surut Johor Bahru

Perisian	O <sub>1</sub>		K <sub>1</sub>		M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>	
	A (m)	g (°)	A (m)	g (°)	A (m)	g (°)	A (m)	g (°)
$\mu$ -TAPS	0.311	41.2	0.303	111.6	0.870	326.4	0.340	22.7
TLDM	0.303	50.4	0.305	103.3	0.860	325.2	0.3406	22.6
Selisih	0.009		-0.002		0.009		0.000	

**Jadual 6.3:** Perbezaan aras-aras laut antara  $\mu$ -TAPS dengan TLDM bagi stesen pasang surut Johor Bahru

Perisian	LAT	MLWS	MLWN	MSL	MHWN	MHWS	HAT	Tempoh Cerapan
$\mu$ -TAPS	0.000	0.949	1.630	2.160	2.689	3.370	3.944	1996-2000 (5 tahun)
TLDM	0.00	0.96	1.64	2.16	2.68	3.36	3.90	1984-1998 (13 tahun)
Selisih	0.000	-0.011	-0.010	0.000	0.009	0.010	0.044	

Hasil yang ditunjukkan oleh ketiga-tiga jadual menunjukkan bahawa perbezaan semua parameter yang dibandingkan tidak banyak berkesan. Ini bererti hasil analisis

pasang surut yang dihasilkan oleh  $\mu$ -TAPS sangat baik, meskipun data yang digunakan dalam analisis berbeza dari segi tempoh cerapannya.

## **6.4 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut**

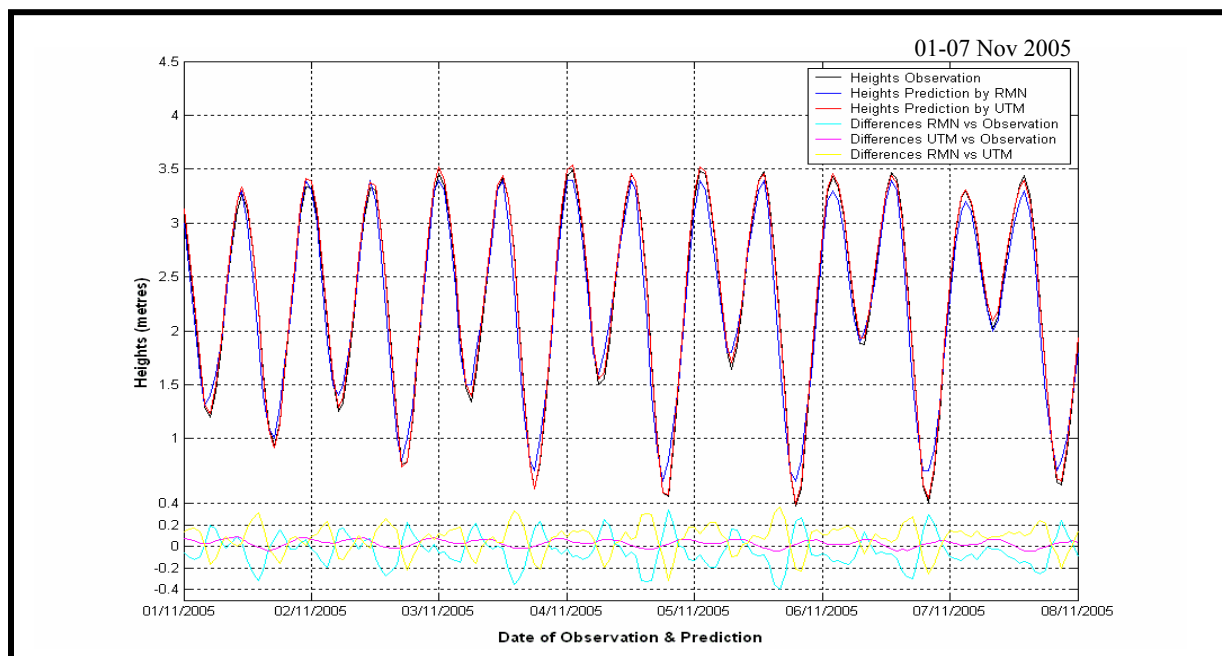
Setelah melakukan pengujian terhadap hasil analisis pasang surut oleh  $\mu$ -TAPS, peringkat selanjutnya adalah melakukan ujian prestasi terhadap hasil ramalan yang dihasilkan  $\mu$ -TAPS. Dalam perkara ini, hasil ramalan akan dibandingkan dengan hasil ramalan UTM mahupun TLDM sesuai dengan Jadual Ramalan Pasang Surut yang telah diterbitkan bagi tahun 2005 dan 2006. Juzuk-juzuk pasang surut yang telah diperolehi dari hasil analisis pasang surut telah digunakan dalam perhitungan ramalan ini. Dalam perbandingan ini, hasil ramalan untuk empat bulan iaitu dari November 2005 – Februari 2006 telah digunakan.

### **6.4.1 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara $\mu$ -TAPS Dengan RMN**

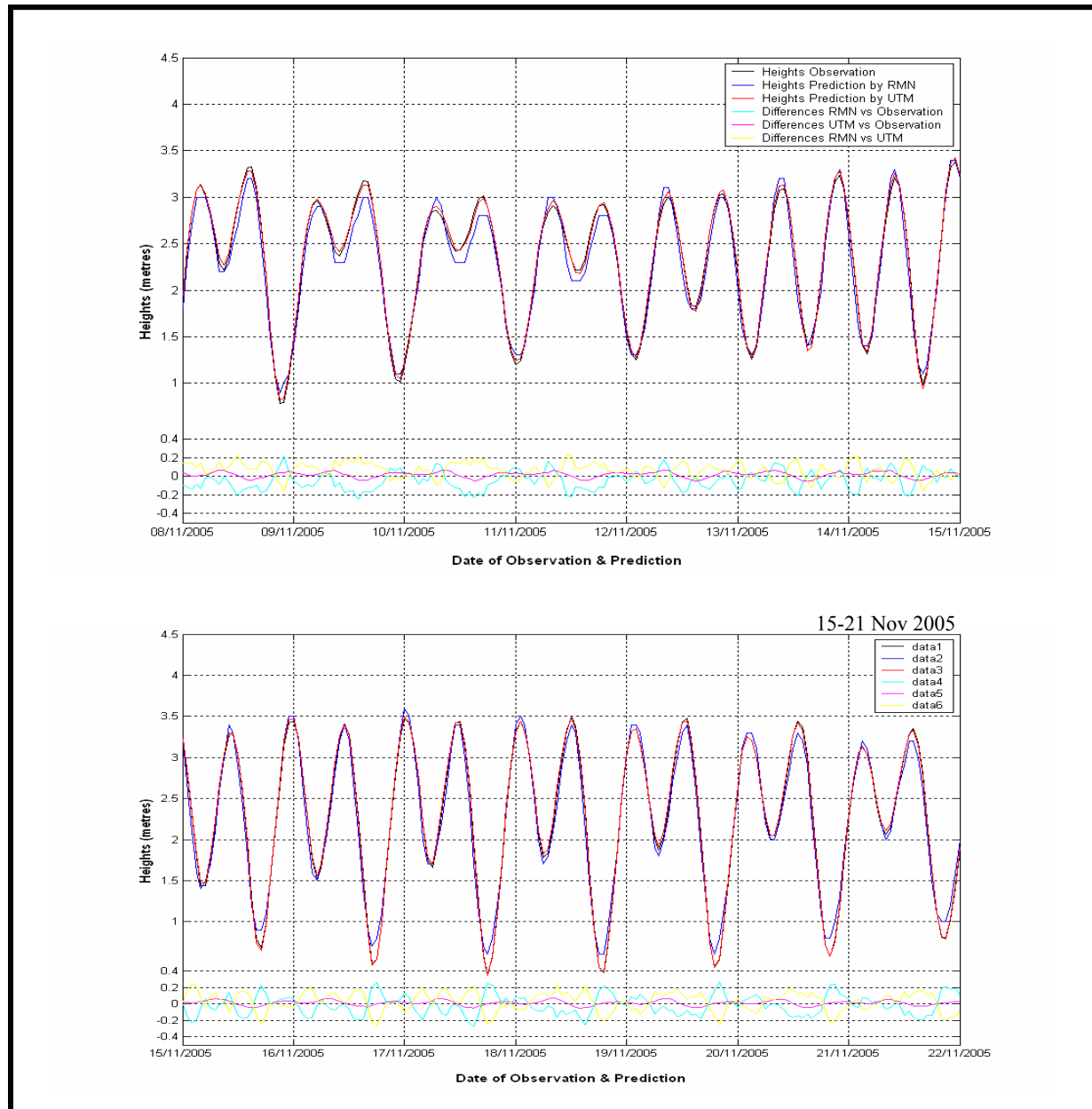
Seperti penjelasan sebelumnya, datum carta rujukan yang digunakan oleh RMN adalah LAT, maka dalam kajian ramalan yang dibandingkan dengan RMN,  $\mu$ -TAPS juga menggunakan sistem yang sama. Hasil perbandingan bagi empat bulan data cerapan pasang surut tersebut adalah seperti penjelasan di bawah ini. Jadual ramalan pasang surut bagi RMN dan UTM dilampirkan pada Lampiran C.

#### 6.4.1.1 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bagi Bulan November 2005.

Hasil pemprosesan paling sesuai ditunjukkan di dalam bentuk graf. Rajah 6.1, rajah 6.2 dan rajah 6.3 menunjukkan data cerapan pasang surut berbanding nilai ramalan pasang surut dan nilai perbezaan pasang surut pada bulan November 2005.

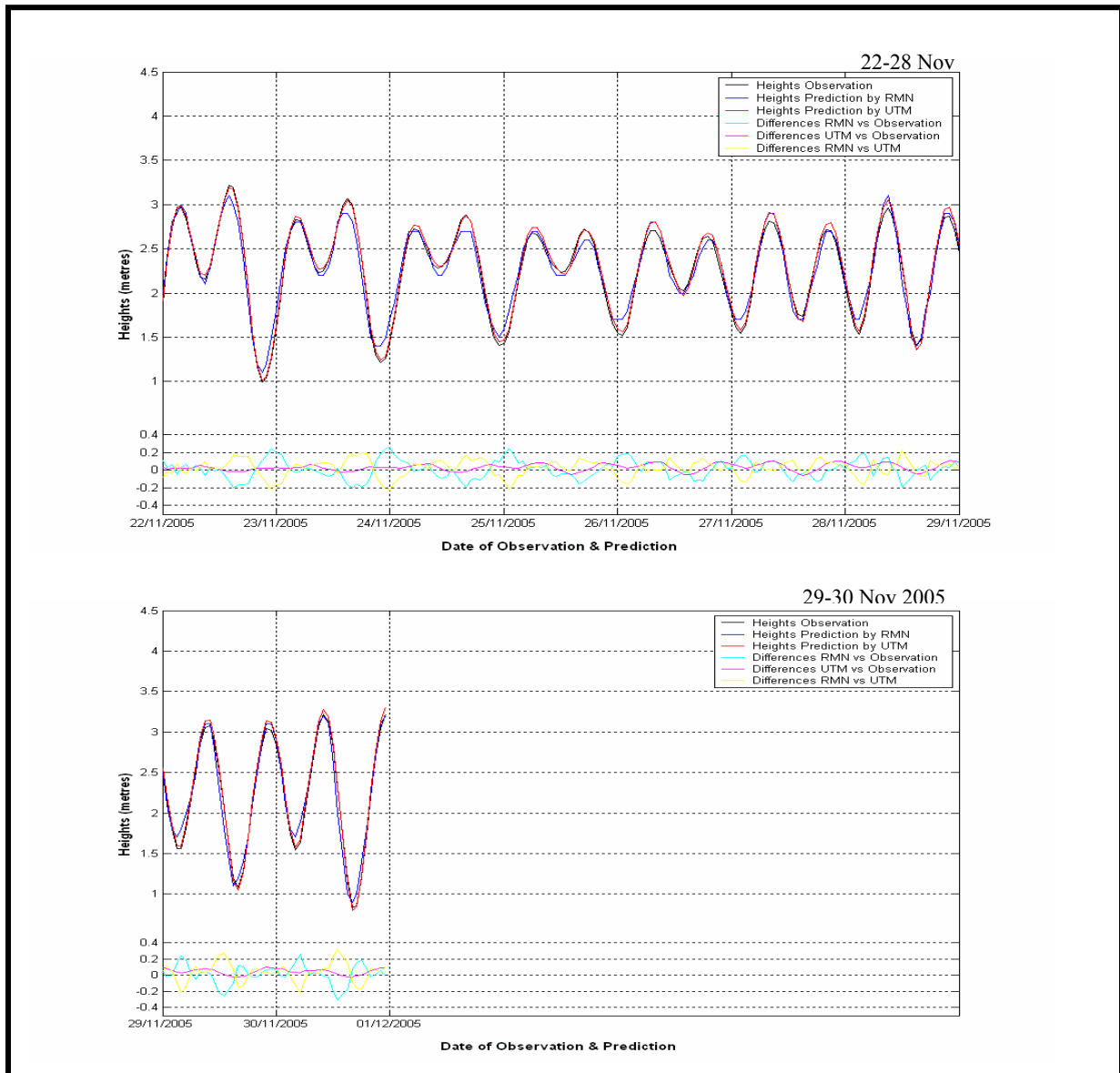


**Rajah 6.1 :** Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 01-07 November 2005



**Rajah 6.2:** Graf cerapan bandingan ramalan UTM dengan RMN pada 08-21 November 2005





**Rajah 6.3:** Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 22-30 November 2005

Secara keseluruhannya, graf perbandingan ramalan adalah berhampiran. Dengan menggunakan nilai sisihan piawai ( $\sigma$ ) TLDM bagi Johor Bahru iaitu  $\pm 0.157$  meter dilakukan pengelompokkan nilai perbezaan seperti dalam Jadual 6.4. Data dengan kejituan kurang dari satu kali sisihan piawai adalah 89.58%, data memiliki kejituan antara satu kali hingga dua kali sisihan piawai adalah 10.14%, dan hanya 0.28% data ramalan yang memiliki kejituan lebih daripada dua kali sisihan piawai. Dengan hasil tersebut

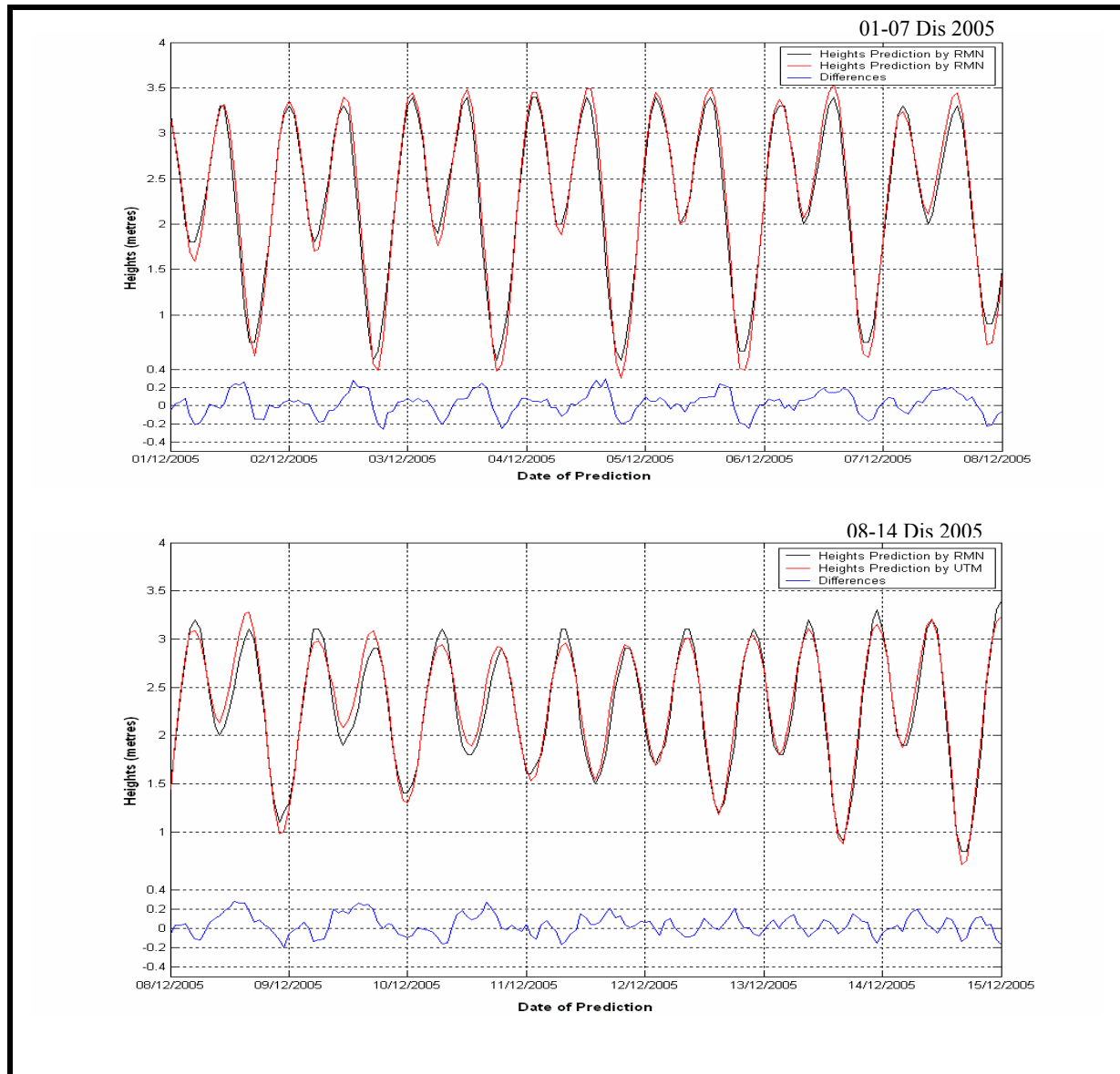
dapat disimpulkan bahawa perbezaan yang memiliki kejituan kurang daripada  $2\sigma$  adalah 99.72% dari 720 data ramalan.

**Jadual 6.4:** Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan November.

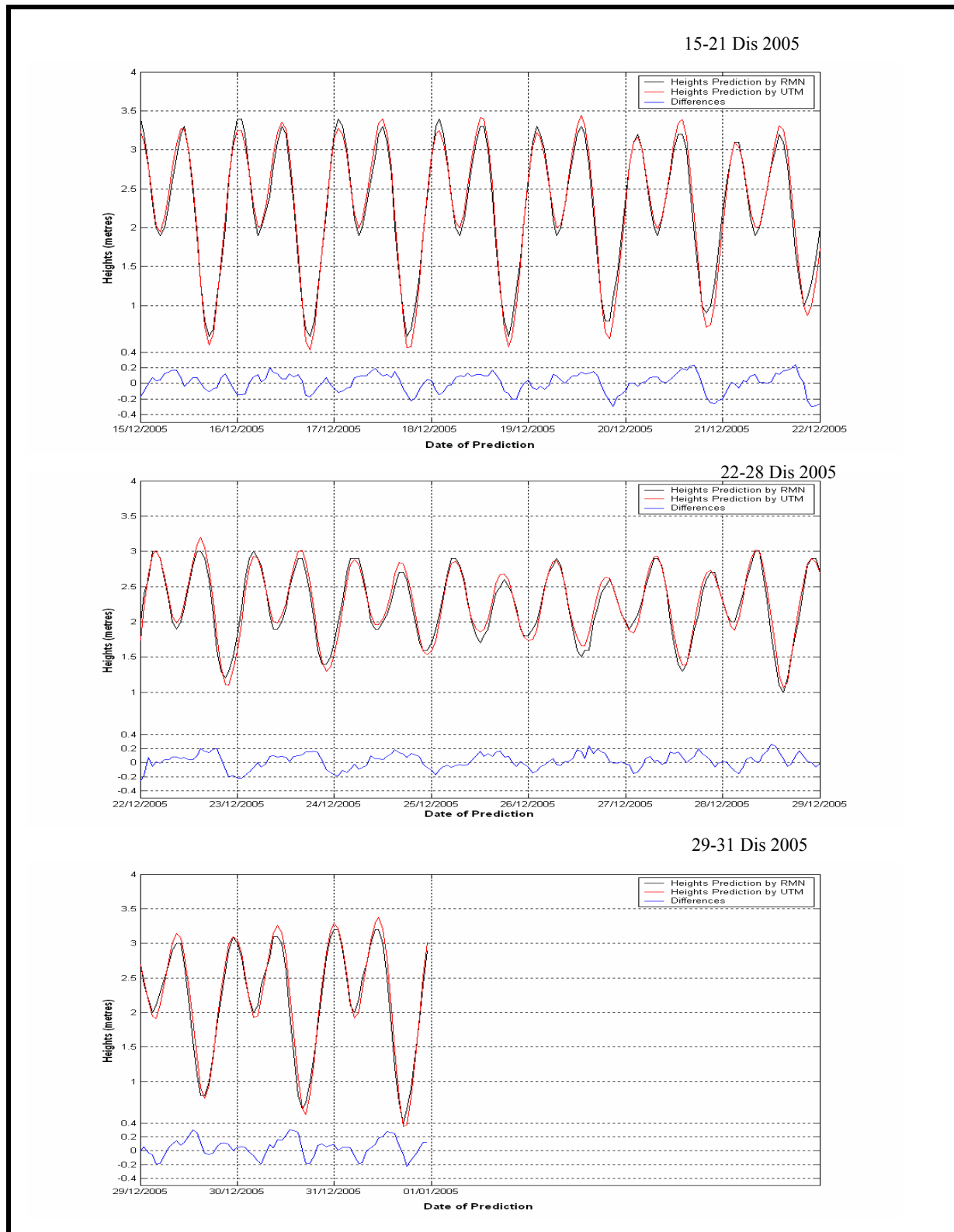
Julat Selisih	Frekuensi	Peratusan	$x \leq \sigma$	$1\sigma < x \leq 2\sigma$	$x > 2\sigma$
$X < -0.32$	0	0.00%	89.58%	10.14%	0.28%
$-0.32 \leq x < -0.16$	34	4.72%			
$-0.16 \leq x < 0$	173	24.03%			
$X = 0$	15	2.08%			
$0 < x \leq 0.16$	423	58.75%			
$0.16 < x \leq 0.32$	73	10.14%			
$X > 0.32$	2	0.28%			
Jumlah data	720	100.00%			
$\sigma = \pm 0.157$	Sisihan piawai				

#### 6.4.1.2 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bagi Bulan Disember 2005.

Hasil pemprosesan paling sesuai ditunjukkan di dalam bentuk graf. Rajah 6.4 dan rajah 6.5 menunjukkan data cerapan pasang surut berbanding nilai ramalan pasang surut dan nilai perbezaan pasang surut pada bulan Disember 2005.



**Rajah 6.4:** Graf cerapan bandingan ramalan UTM dengan RMN pada 01-14 Disember 2005



**Rajah 6.5:** Graf cerapan bandingan ramalan UTM dengan RMN pada 15-28 Disember 2005

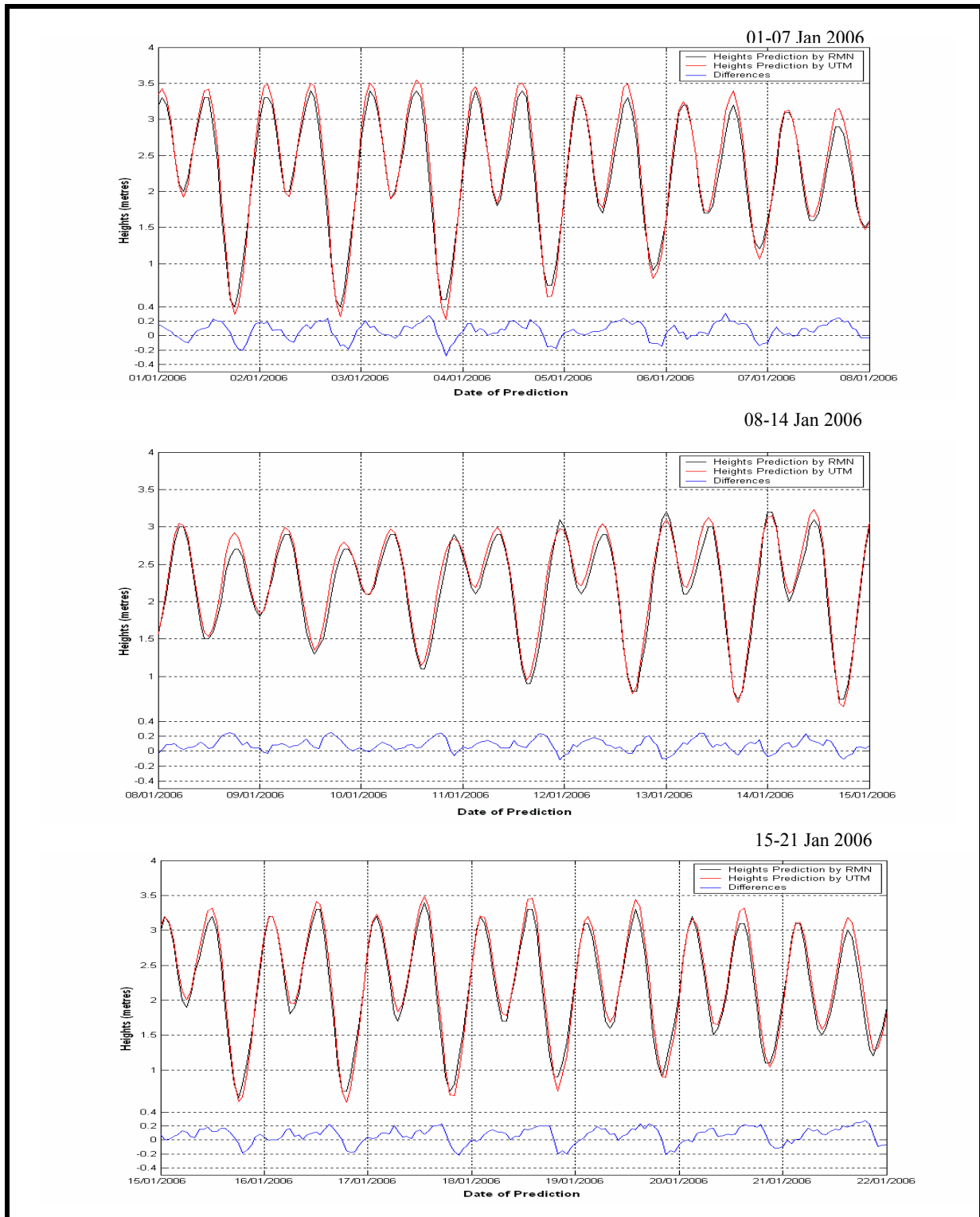
Secara keseluruhannya, graf perbandingan ramalan adalah berhampiran. Pengelompokan nilai perbezaan dilakukan seperti dalam Jadual 6.14. Data dengan kejituan kurang dari satu kali sisihan piawai adalah 69.36%, data memiliki kejituan antara satu kali hingga dua kali sisihan piawai adalah 26.75%, dan hanya 3.95% data ramalan yang memiliki kejituan lebih daripada dua kali sisihan piawai. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahawa perbezaan yang memiliki kejituan kurang daripada  $2\sigma$  adalah 97.30% dari 744 data ramalan.

**Jadual 6.5:** Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan Disember.

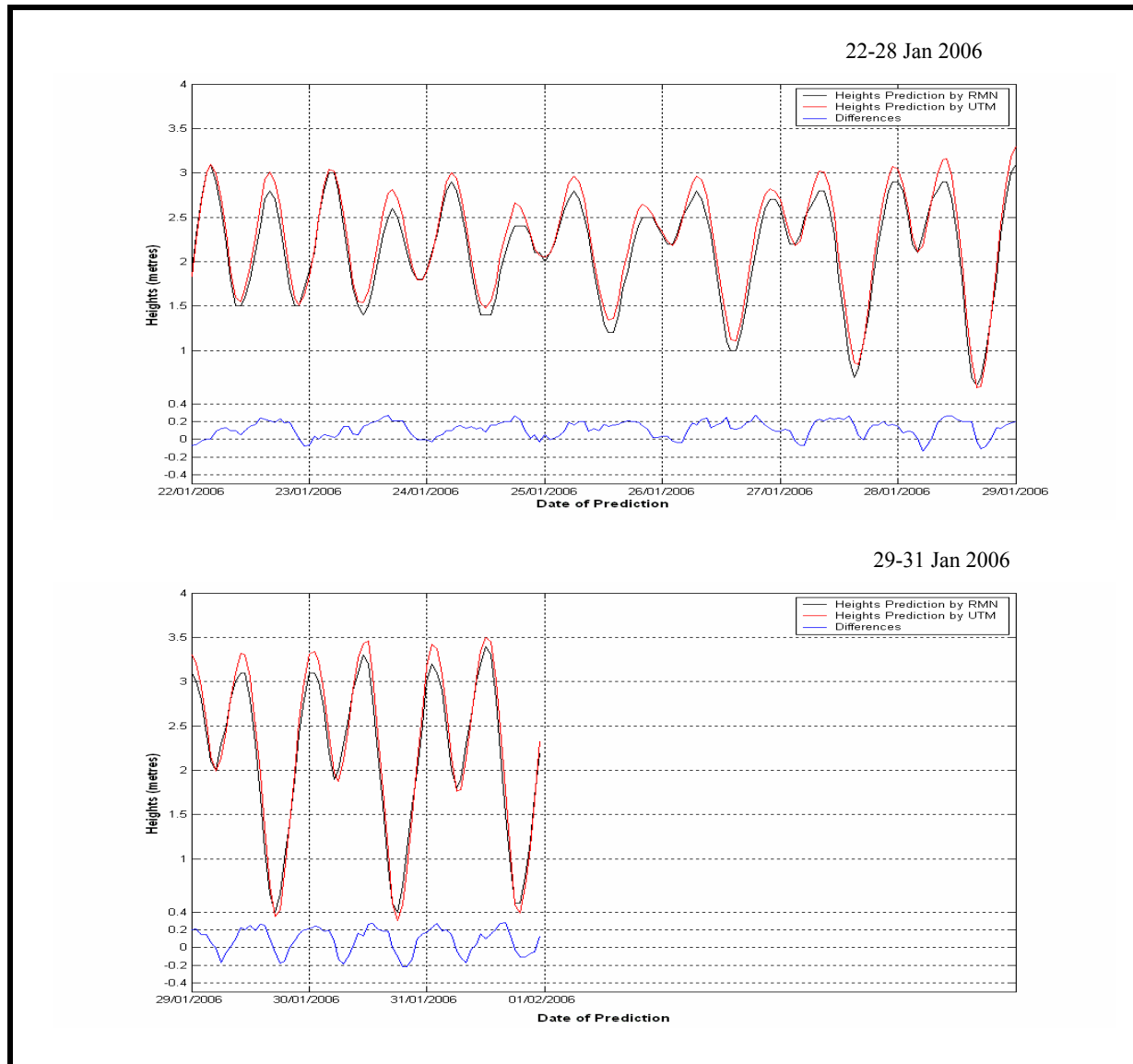
Julat Selisih	Frekuensi	Peratusan	$x \leq \sigma$	$1\sigma < x \leq 2\sigma$	$x > 2\sigma$
$X < -0.24$	9	1.25%	69.36%	26.75%	3.95%
$-0.24 \leq x < -0.12$	81	10.89%			
$-0.12 \leq x < 0$	182	24.46%			
$X = 0$	22	2.96%			
$0 < x \leq 0.12$	312	41.94%			
$0.12 < x \leq 0.24$	118	15.86%			
$x > 0.24$	20	2.70%			
Jumlah data	744	100.00%			
$\Sigma = \pm 0.117$	Sisihan piawai				

#### 6.4.1.3 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bagi Bulan Januari 2006.

Hasil pemprosesan paling sesuai ditunjukkan di dalam bentuk graf. Rajah 6.7 dan rajah 6.8 menunjukkan data cerapan pasang surut berbanding nilai ramalan pasang surut dan nilai perbezaan pasang surut pada bulan Januari 2006.



**Rajah 6.7:** Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 15-21 Januari 2006



**Rajah 6.8:** Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 22-31 Januari 2006

Secara keseluruhannya, graf perbandingan ramalan adalah berhampiran. Pengelompokan nilai perbezaan dilakukan seperti dalam Jadual 6.6. Data dengan kejitian kurang dari satu kali sisihan piawai adalah 64.81%, data memiliki kejitian antara satu kali hingga dua kali sisihan piawai adalah 35.06%, dan hanya 0.13% data ramalan yang memiliki kejitian lebih daripada dua kali sisihan piawai. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahawa perbezaan yang memiliki kejitian kurang daripada  $2\sigma$  adalah 99.87% dari 744 data ramalan.

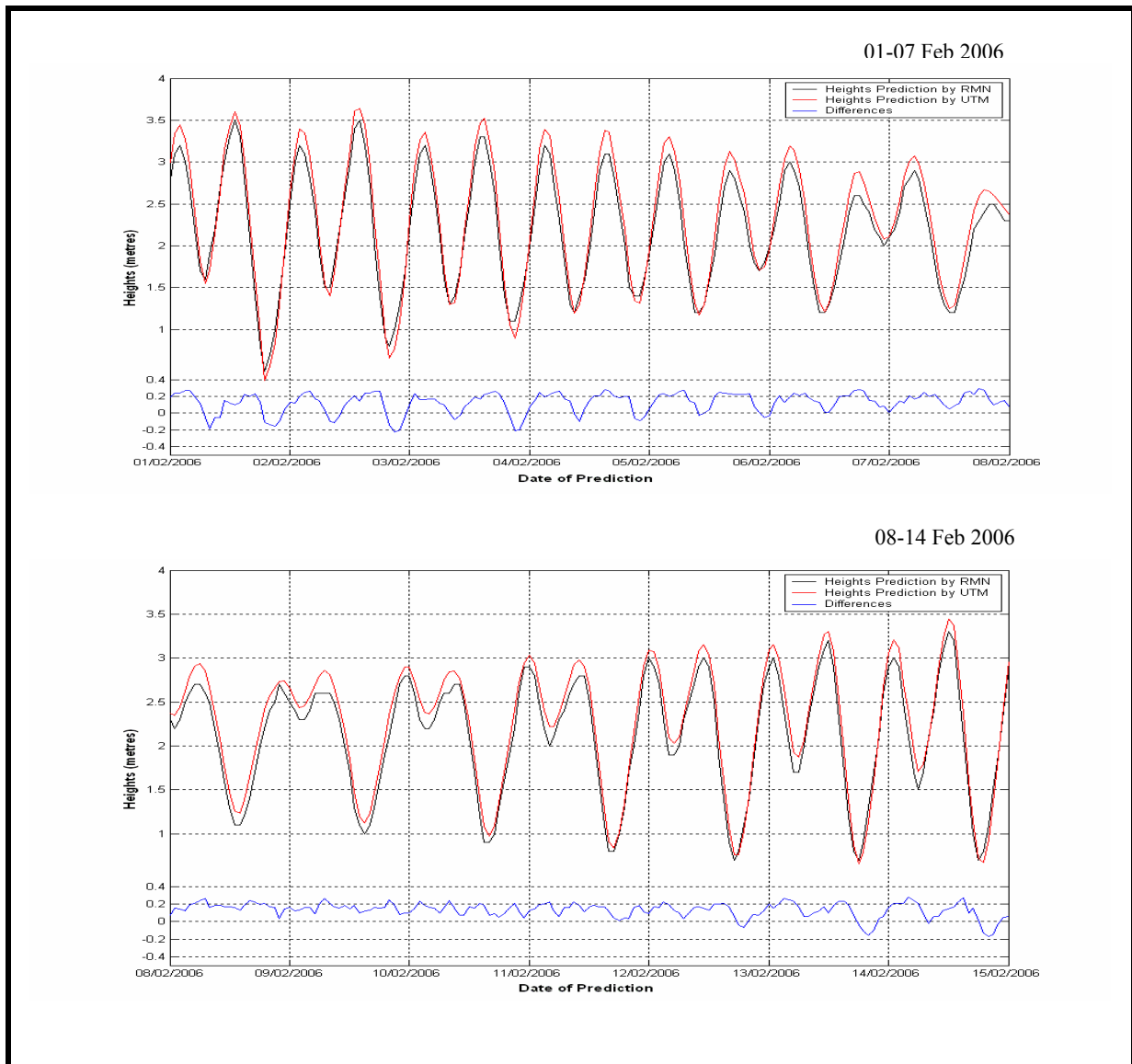
**Jadual 6.6:** Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan Januari.

Julat Selisih	Frekuensi	Peratusan	$x \leq \sigma$	$1\sigma < x \leq 2\sigma$	$x > 2\sigma$
$X < -0.28$	0	0.00%	64.81%	35.06%	0.13%
$-0.28 \leq x < -0.14$	26	3.49%			
$-0.14 \leq x < 0$	118	15.80%			
$X = 0$	22	2.96%			
$0 < x \leq 0.14$	344	46.05%			
$0.14 < x \leq 0.28$	233	31.32%			
$x > 0.28$	1	0.13%			
Jumlah data	744	100.00%			
$\Sigma = \pm 0.141$	Sisihan piawai				

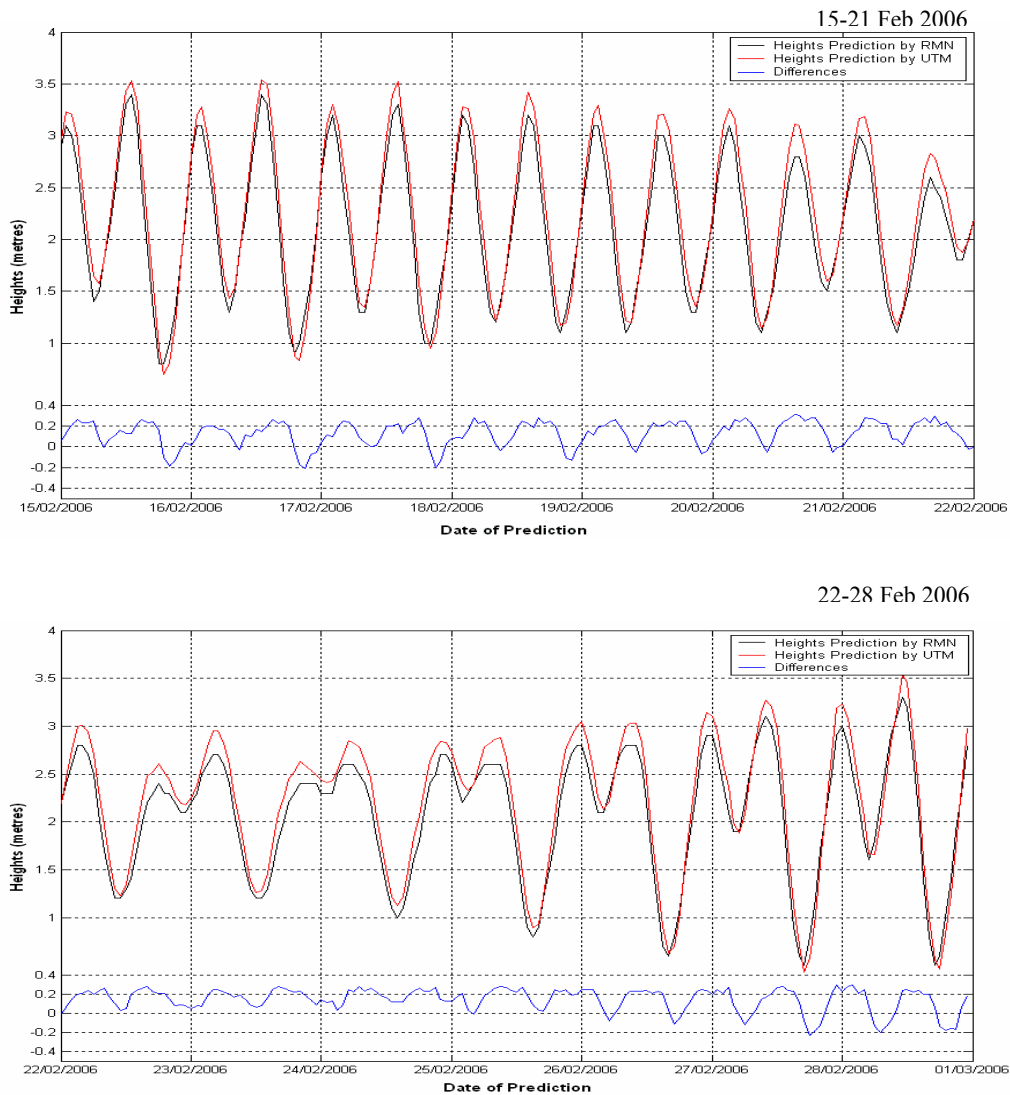
#### 6.4.1.4 Perbandingan Hasil Ramalan Pasang Surut Antara UTM Dengan RMN Bagi Bulan Februari 2006.

Hasil pemprosesan paling sesuai ditunjukkan di dalam bentuk graf. Rajah 6.9 dan rajah 6.10 menunjukkan data cerapan pasang surut berbanding nilai ramalan pasang surut dan nilai perbezaan pasang surut pada bulan Februari 2006.





**Rajah 6.09:** Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 01-14 Februari 2006



**Rajah 6.10:** Graf perbandingan ramalan UTM dengan RMN pada 15-28 Februari 2006

Secara keseluruhannya, graf perbandingan ramalan adalah berhampiran. Pengelompokkan nilai perbezaan dilakukan seperti dalam Jadual 6.7. Data dengan kejaitan kurang dari satu kali sisihan piawai adalah 37.97%, data memiliki kejaitan antara satu kali hingga dua kali sisihan piawai adalah 51.49%, dan hanya 13.54% data ramalan

yang memiliki kejituan lebih daripada dua kali sisihan piawai. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahawa perbezaan yang memiliki kejituan kurang daripada  $2\sigma$  adalah 86.46% dari 672 data ramalan.

**Jadual 6.7:** Nilai perbezaan hasil ramalan UTM dengan RMN bagi bulan Februari.

Julat Selisih	Frekuensi	Peratusan	$x \leq \sigma$	$1\sigma < x \leq 2\sigma$	$x > 2\sigma$
$X < -0.24$	0	0.00%	34.97%	51.49%	13.54%
$-0.24 \leq x < -0.12$	28	4.17%			
$-0.12 \leq x < 0$	59	8.78%			
$X = 0$	3	0.45%			
$0 < x \leq 0.12$	173	25.74%			
$0.12 < x \leq 0.24$	320	47.62%			
$x > 0.24$	91	13.54%			
<b>Jumlah data</b>	672	100.00%			
$\Sigma = \pm 0.116$	Sisihan piawai				

## 6.5 Kesimpulan

Secara keseluruhannya, perisian  $\mu$ -TAPS yang digunakan dalam kajian ini bagi analisis dan ramalan pasang surut menggunakan kaedah analisis harmonik dengan pelarasan kuasa dua terkecil telah menunjukkan hasil yang maksima. Perkara tersebut telah dibuktikan dengan membandingkan hasil analisis dan ramalan yang diperolehi oleh  $\mu$ -TAPS terhadap hasil daripada TLDM dan diperolehi hasil yang baik. Meskipun ada perbezaan dalam pembahagian jenis pasang surut dengan TLDM, hanyalah disebabkan oleh sistem pembahagian jenis yang berbeza dan bila dilihat dari nilai F dan menggunakan sistem TLDM, maka akan diperolehi jenis pasang surut yang sama dengan TLDM.

Merujuk kepada kejituan perhitungan analisis yang dilihat dari sudut lain iaitu nilai perambatan selisih yang dibangunkan  $\mu$ -TAPS, maka dapat diketahui kejituan dari setiap juzuk-juzuk pasang surut yang dihasilkan terutamanya kejituan daripada

amplitudnya. Ini juga merupakan sistem kawalan yang menunjukkan baik atau tidaknya data cerapan yang dihitung.

Mengenai jenis pasang surut bagi stesen di perairan Semenanjung, telah juga dipaparkan pada hasil analisis, di mana jenis pasang surut adalah bergantung kepada sistem pembahagian jenis pasang surut yang digunakan. Perkara tersebut yang menyebabkan jenis pasang surut yang dikemukakan oleh JUPEM dan TLDM ada sebahagiannya yang berbeza, kerana JUPEM membahagikan dalam empat jenis dan TLDM hanya membahagikan dalam dua jenis. Apabila ditinjau dari nilai F yang dihasilkan dan sistem pembahagian jenis pasang surut yang digunakan antara JUPEM dan TLDM adalah sama, maka perbezaan tersebut tidak akan terjadi.

## **BAB 7**

### **KESIMPULAN DAN CADANGAN**

#### **7.1 Pendahuluan**

Secara keseluruhannya, kajian ini telah dapat dilaksanakan berdasarkan pada objektif dan skop kajian yang telah dirancang. Daripada proses pengujian yang telah dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperolehi oleh  $\mu$ -TAPS dengan perisian yang digunakan oleh TLDM memberikan hasil yang baik. Keputusan yang diperolehi telah membuktikan bahawa, pembangunan pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS telah mengaplikasikan perhitungan analisis pasang surut menggunakan kaedah analisis harmonik dengan pelarasan kuasa dua terkecil.

Pada akhir penulisan laporan kajian ini, kesimpulan telah dibuat berdasarkan pada analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Permasalahan dan keterbatasan kajian turut diketengahkan bagi memberikan penjelasan yang menyeluruh terhadap pencapaian yang telah diperolehi dalam kajian ini. Bahagian akhir yang ikut serta dipaparkan dalam bab ini adalah cadangan-cadangan bagi menambah dan memantapkan kajian khususnya analisis pasang surut dan pembelajaran fenomena serta ciri-ciri pasang

surut di seluruh perairan Malaysia meliputi: Semenanjung, Sabah dan Sarawak pada masa hadapan. Mungkin juga efek meteorologi yang merupakan faktor tempatan yang berpengaruh pada pasang surut yang terjadi dapat dikenali dan diaplikasikan sebagai nilai pembetulan bagi memperbaiki analisis pasang surut yang telah dilakukan.

## **7.2 Kesimpulan Kajian**

Kajian ini telah mencapai objektif-objektif yang telah ditetapkan. Bagi memperoleh penjelasan yang terperinci mengenai pencapaian kajian ini, maka kesimpulan telah dibahagikan dengan merujuk kepada objektif yang telah dirancang meliputi:

- (i) Kesimpulan keseluruhan bagi pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS yang telah dibuat dalam melakukan analisis dan membuat ramalan pasang surut.
- (ii) Mengkaji fenomena dan jenis pasang surut bagi kawasan perairan Johor Bahru.

### **7.2.1 Pembangunan Pengaturcaraan $\mu$ -TAPS**

Berdasarkan pemahaman terhadap teori analisis pasang surut menggunakan kaedah analisis harmonik dengan pelarasan kuasa dua terkecil, telah dibuat metodologi perhitungan dan pembetulan nilai amplitud dan fasa seperti yang telah dihuraikan pada Bab 3. Pemilihan kaedah analisis harmonik menggunakan pelarasan kuasa dua terkecil pada kajian ini adalah tepat kerana mampu menghitung data dengan tempoh cerapan panjang dan dapat diperolehi nilai kejituan daripada setiap juzuk pasang surut yang dihasilkan. Walaupun pada saat ini  $\mu$ -TAPS baru mengembangkan 64 juzuk sahaja untuk pemprosesan data tempoh panjang, akan tetapi  $\mu$ -TAPS telah memiliki kemampuan untuk

melakukan perhitungan analisis dan membuat jadual ramalan pasang surut dengan baik. Dalam pembangunan pengaturcaraan  $\mu$ -TAPS telah dibuat sedemikian rupa sehingga sangat mudah untuk dioperasikan. Data yang diterima dalam bentuk format data asal terutama daripada alat *Valeport 740*, *Global Water* dan RMN dapat ditukar dengan mudah ke dalam format  $\mu$ -TAPS.

Demikian pula hasil ujian prestasi bagi analisis pasang surut yang dihasilkan oleh  $\mu$ -TAPS terhadap perisian yang digunakan oleh TLDM menunjukkan hasil yang sangat baik. Perbezaan hasil analisis pasang surut bagi nilai  $Z_0$  adalah antara  $-0.054$  meter hingga  $0.067$  meter, di mana nilai perbezaan ini adalah sangat baik dalam pengukuran hidrografi.

### **7.2.2 Fenomena dan Jenis Pasang Surut Semenanjung Malaysia**

Penentuan jenis pasang surut bagi stesen pasang surut di perairan Semenanjung Malaysia berdasarkan pada nilai  $F$  yang diperolehi dari proses analisis pasang surut. Bagi stesen Johor Bahru adalah memiliki jenis pasang surut bercampur, separuh harian dominan. Jika didapati ada perbezaan antara jenis pasang surut di perairan Semenanjung antara Jadual Ramalan Pasang Surut JUPEM dan Jadual Ramalan Pasang Surut TLDM, ini adalah kerana sistem yang digunakan oleh JUPEM dan TLDM adalah berbeza dalam pembahagian jenis pasang surut.

## **7.3 Cadangan**

Walaupun kajian ini telah berjaya memenuhi skop kajian yang telah dirancang, namun tidak dinafikan masih mempunyai kekurangan dan kelemahan untuk diperbaiki. Kajian lebih lanjut bagi memantapkan pengaturcaraan yang telah dibangunkan ke arah komersil adalah sangat diperlukan. Antara bahagian–bahagian yang perlu dikembangkan pada masa hadapan ialah:

- (i) Penambahan jumlah juzuk pasang surut dengan juzuk perairan cetek (*shallow water constituents*) hingga 115, bagi perhitungan analisis pasang surut menggunakan tempoh cerapan jangka panjang.
- (ii) Pemilihan juzuk pasang surut sesuai dengan tempoh cerapan dilakukan secara automatik.  $\mu$ -TAPS masih memberikan menu pilihan bagi data cerapan yang hanya disesuaikan dengan skop kajian yang telah dirancang.
- (iii) Kajian lanjutan bagi melakukan ujian prestasi  $\mu$ -TAPS di perairan Sabah dan Sarawak diperlukan bagi gambaran pasang surut seluruh Malaysia.
- (iv) Kajian lain tentang pasang surut bagi mengesan kadar pengaruh daripada faktor meteorologi dan musim monsun yang selama ini belum pernah diambil kira secara matematik bagi semua perairan di Wilayah Semenanjung, yang mana nilai yang diperolehi boleh dijadikan pembetulan bagi ramalan pasang surut akibat pengaruh tempatan.

## 7.4 Penutup

Pasang surut adalah sebahagian daripada kerja hidrografi yang memberikan nilai penurunan pada hasil pengukuran kedalaman, tetapi memiliki erti yang sangat penting terutamanya bagi pembinaan pelabuhan baru dan pelbagai keperluan aplikasi yang lain. Oleh itu, dalam pengukuran pasang surut harus diperhatikan beberapa perkara, guna mendapatkan hasil yang baik. Perkara tersebut antara lain ialah penggunaan peralatan



yang memenuhi syarat kelayakan, analisis yang memiliki kejituan yang tinggi dan ramalan mendekati keadaan sebenar pasang surut yang terjadi.

Secara keseluruhannya, kajian ini telah memberikan gambaran yang jelas mengenai pemahaman teori analisis dan ramalan pasang surut khususnya analisis pasang surut menggunakan kaedah analisis harmonik dengan pelarasan kuasa dua terkecil dan telah membuat pengaturcaraan bagi menyelesaikan hitungan yang mampu memproses data dengan tempoh cerapan panjang. Melalui penjelasan tersebut boleh menjadi pemangkin bagi kajian yang terkait dengan pasang surut dan hidrografi serta oseanografi.

Pembangunan perisian  $\mu$ -TAPS bagi tujuan analisis dan ramalan pasang surut telah melalui beberapa siri ujian pengesahan dan hasilnya  $\mu$ -TAPS berupaya untuk bertindak sebagai perisian alternatif lain bagi memproses data cerapan pasang surut di Malaysia.

## SENARAI RUJUKAN

- Abdul Hamid bin Mohd. Tahir (1990). *Unsur-Unsur Astronomi Praktik Untuk Kegunaan Ukur Tanah*, Unit Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor Darul Ta'zim.
- .Ali M. et al (1997). *Diktat Kuliah Pasang Surut Air Laut*. Jurusan Meteorologi dan Geofisika ITB, Bandung: diktat.
- Andy Lazuardy.(1995). *Aliasing Dalam Penentuan Konstanta Pasut Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil*. Jurusan teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung: Thesis Sarjana Teknik Geodesi,.
- Doodson, A.T. (1957). *The Analysis and Prediction of Tides in Shallow Water*. Liverpool Observatory and Tidal Institute: Extract from International Hydrographic Review, Special Publication 41.
- Dronkers J.J. (1975). *Tidal Theory and Computation*. New York San Francisco London: Advances in Hydrosience, Vol 10, Academic Press, Inc.
- Dronkers, J.J. (1964). *Tidal Computation in River and Coastal Water*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Easton, A.K. (1977). *Selected Programs for Tidal Analysis and Prediction*. The Flinders Institute for Atmospheric and Marine Science, Flinders University, Bedford Park, South Australia: Computing Report No.9.
- Gordin (1972). *The Analysis of Tides*. University of Toronto: Press ISBN 0-8020-1747-9.

Hydrographic Department (1969). *Tides and Tidal Stream*. The Hydrographer of Navy, United Kingdom: Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Chapter 2, Volume 2.

Hydrographic Department (1981). *Physical Oceanographic Survey Course*. Japan: Group Training Course In Hydrographic Services.

IHO Tidal Committee (2003). Feedback on Transition to LAT / HAT. Circular Letter 55/2003, IHB File No. S3/1401/WG.

Ihwan M. (1998). *Penurunan Konstanta Harmonik Dari Teori Pasut Laut*. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung: Thesis Sarjana Teknik Geodesi.

Ingham, A.E. (1975). *Sea Surveying*. Department of Land Surveying, North East London Polytechnic London: John Wiley & Sons, Inc. New York.

Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (2000). *Jadual Ramalan Pasang Surut Malaysia*, Kuala Lumpur.

Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (2005). *Jadual Ramalan Pasang Surut Malaysia*, Kuala Lumpur.

Mohd Razali Mahmud and Hery Purwanto (2004). The Determination of Tidal Constituents and Prediction Based on Short Observation Period. *International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2004 (ISG2004) Proceeding*. September 21-23, Kuala Lumpur.

Perbani N.M.R.C.(1993). *Penggunaan Analisis Spektral Untuk Menentukan Konstanta Pasut*. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung: Thesis Sarjana Teknik Geodesi.

- Pugh, D.T. (1987). *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. Natural Environment Research Council Swindon, U.K.: John Wiley & Sons.
- Shiple, M.A. (1967). Recent Developments in Tidal Analysis in South Africa. *The Symposium on tides. The International Hydrographic Bureau (1967) Proceeding*. April 28-29. Monaco.
- Shu, J.J. (2003). *Prediction and Analysis of Tides and Tidal Currents*. International Hydrographic Review: Vol. 4 No. 2 (New Series) August 2003.
- Suyarso, O.S.R.O. (1989). *Pasang Surut*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanografi ISBN:979-8105-00.
- Tentera Laut Diraja Malaysia (2005). *Jadual Pasang Surut Malaysia Jilid 1*. Tentera Laut Diraja Malaysia, Kuala Lumpur.
- van Ette, A.C.M. and Schoemaker, H.J. (1967). Harmonic analyses of tides-essential features and disturbing influences. *The Symposium on tides. International Hydrographic Bureau (1967) Proceeding*. April 28-29. Monaco.
- Wolf, R.P. (1997). *Adjustment Computation, Statistic and Least Squares in Surveying and GIS*. John Wiley & Sons, Inc. New York.

## LAMPIRAN A

### Perambatan Selisih Bagi Amplitud Dan Fasa

#### 2.5 Perambatan Selisih Amplitud

Penyelesaian perambatan selisih amplitud:

$$\sum_{xx} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T A)^{-1} \quad (\text{A.1})$$

Nilai  $\hat{\sigma}_0^2$  diperolehi daripada:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T V}{n - u} \quad (\text{A.2})$$

di mana,

- $\hat{\sigma}_0^2$  = a posteriori varians
- $V$  = nilai selisih matriks cerapan dengan matriks model ( $V = AX - F$ )
- $n$  = jumlah data
- $u$  = nilai parameter

Dengan demikian, nilai varians amplitud dan fasa dari varians  $A$  dan  $B$  menggunakan kaedah perambatan selisih adalah:

$$\sigma_{R_r}^2 = \left[ \frac{\partial R_r}{\partial A_r} \right]^2 \sigma_{A_r}^2 + \left[ \frac{\partial R_r}{\partial B_r} \right]^2 \sigma_{B_r}^2 \quad (\text{A.3})$$

Penyelesaian untuk perambatan selisih amplitud:

$$R_r = (A_r^2 + B_r^2)^{1/2}$$

$$\frac{\partial R_r}{\partial A_r} = \frac{1}{2} (A_r^2 + B_r^2)^{-1/2} 2A_r = \frac{A_r}{(A_r^2 + B_r^2)^{1/2}}$$

$$\begin{aligned}\left[\frac{\partial R_r}{\partial A_r}\right]^2 &= \left[\frac{A_r}{(A_r^2 + B_r^2)^{1/2}}\right]^2 \\ \left[\frac{\partial R_r}{\partial A_r}\right]^2 &= \frac{A_r^2}{A_r^2 + B_r^2}\end{aligned}\tag{A.4}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial R_r}{\partial B_r} &= \frac{1}{2}(A_r^2 + B_r^2)^{-1/2} 2B_r \\ &= \frac{B_r}{(A_r^2 + B_r^2)^{1/2}} \\ \left[\frac{\partial R_r}{\partial B_r}\right]^2 &= \left[\frac{B_r}{(A_r^2 + B_r^2)^{1/2}}\right]^2 \\ \left[\frac{\partial R_r}{\partial B_r}\right]^2 &= \frac{B_r^2}{A_r^2 + B_r^2}\end{aligned}\tag{A.5}$$

Jika persamaan (A.4) dan (A.5) dimasukkan pada persamaan (A.3), maka akan diperoleh nilai perambatan selisih amplitud setiap juzuk seperti persamaan (A.6):

$$\begin{aligned}\sigma_{R_r}^2 &= \frac{A_r^2}{A_r^2 + B_r^2} \sigma_{A_r}^2 + \frac{B_r^2}{A_r^2 + B_r^2} \sigma_{B_r}^2 \\ \sigma_{R_r} &= \sqrt{\left(\frac{A_r^2}{A_r^2 + B_r^2} \sigma_{A_r}^2 + \frac{B_r^2}{A_r^2 + B_r^2} \sigma_{B_r}^2\right)}\end{aligned}\tag{A.6}$$

## 2.6 Perambatan Selisih Fasa

Penyelesaian perambatan selisih fasa:

$$\sigma_{\theta_r}^2 = \left[ \frac{\partial \theta_r}{\partial A_r} \right]^2 \sigma_{A_r}^2 + \left[ \frac{\partial \theta_r}{\partial B_r} \right]^2 \sigma_{B_r}^2 \quad (\text{A.7})$$

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{B_r}{A_r} \right) \quad (\text{A.8})$$

$$\text{bila } y = \tan^{-1}(x) \text{ dan } \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{1}{1+x^2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_r}{\partial A_r} &= \frac{1}{1 + \left( \frac{B_r}{A_r} \right)^2} \cdot (-1) B_r \cdot A_r^{-2} \\ &= \frac{-B_r}{\left( 1 + \left( \frac{B_r}{A_r} \right)^2 \right) A_r^2} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \theta_r}{\partial A_r} = \frac{-B_r}{A_r^2 + B_r^2}$$

$$\left[ \frac{\partial \theta_r}{\partial A_r} \right]^2 = \left[ \frac{-B_r}{A_r^2 + B_r^2} \right]^2$$

$$\left[ \frac{\partial \theta_r}{\partial A_r} \right]^2 = \frac{B_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \quad (\text{A.9})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_r}{\partial B_r} &= \frac{1}{1 + \left( \frac{B_r}{A_r} \right)^2} \cdot \frac{1}{A_r} \\ &= \frac{1}{\left( 1 + \left( \frac{B_r}{A_r} \right)^2 \right) A_r} = \frac{1}{A_r + \frac{B_r^2}{A_r}} = \frac{1}{A_r + \frac{B_r^2}{A_r}} \cdot \frac{A_r}{A_r} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \theta_r}{\partial B_r} = \frac{A_r}{A_r^2 + B_r^2}$$

$$\left[ \frac{\partial \theta_r}{\partial B_r} \right]^2 = \left[ \frac{A_r}{A_r^2 + B_r^2} \right]^2$$

$$\left[ \frac{\partial \theta_r}{\partial B_r} \right]^2 = \frac{A_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \quad (\text{A.10})$$

Jika persamaan (A.9) dan (A.10) dimasukkan pada persamaan (A.7), maka akan diperoleh perambatan selisih fasa seperti persamaan (A.11):

$$\sigma_{\theta_r^2} = \frac{B_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \sigma_{A_r^2} + \frac{A_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \sigma_{B_r^2}$$

$$\sigma_{\theta_r} = \sqrt{\left( \frac{B_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \sigma_{A_r^2} + \frac{A_r^2}{(A_r^2 + B_r^2)^2} \sigma_{B_r^2} \right)} \quad (\text{A.11})$$



## LAMPIRAN B

### Bilangan Doodson dan Formula $f$ serta $\mu$

#### 1.0 Bilangan Doodson

**Jadual B.1** Bilangan Doodson

No	Nama Juzuk	$t$	$s$	$h$	$p$	$N$	$p'$	Initial Fasa	Halaju Sudut	$V_o$
		%/jam	%/jam	%/jam	%/jam	%/jam	%/jam			
		15	0.549	0.04107	0.00464	0.00221	0.00000196			
		k1	k2	k3	k4	k5	k6			
1	SA	0	0	1	0	0	0	0	0.0410686393	280.190
2	SSA	0	0	2	0	0	0	0	0.0821372786	200.380
3	MM	0	1	0	-1	0	0	0	0.5443746958	353.672
4	MSF	0	2	-2	0	0	0	0	1.0158957627	353.672
5	MF	0	2	0	0	0	0	0	1.0980330413	194.052
6	2Q1	1	-4	1	2	0	0	270	12.8542862065	110.854
7	SIGMA1	1	-4	3	0	0	0	270	12.9271398353	2.466
8	Q1	1	-3	1	1	0	0	270	13.3986609022	53.496
9	RO1	1	-3	3	-1	0	0	270	13.4715145311	305.108
10	O1	1	-2	1	0	0	0	270	13.9430366980	356.138
11	MP1	1	-2	3	0	0	0	90	14.0251728766	16.518
12	M1	1	-1	1	0	0	0	90	14.4920521187	93.164
13	CHI1	1	-1	3	-1	0	0	90	14.5695475723	319.160
14	PI1	1	0	-2	0	0	1	270	14.9178646831	350.841
15	P1	1	0	-1	0	0	0	270	14.9589313607	349.810
16	S1	1	0	0	0	0	0	180	15.0000000000	180.000
17	K1	1	0	1	0	0	0	90	15.0410686393	10.190
18	PSI1	1	0	2	0	0	-1	90	15.0821353169	9.159
19	FI1	1	0	3	0	0	0	270	15.1232059180	30.570
20	THETA1	1	1	-1	1	0	0	90	15.5125897063	61.220
21	J1	1	1	1	-1	0	0	90	15.5854433351	312.832
22	SO1	1	2	-1	0	0	0	90	16.0569644020	3.862
23	OO1	1	2	1	0	0	0	90	16.1391016806	204.242
24	OQ2	2	-5	2	1	0	0	180	27.3416965002	49.634
25	MNS2	2	-5	4	1	0	0	0	27.4238337786	70.014
26	2N2	2	-4	2	2	0	0	0	27.8953548458	121.044
27	MU2	2	-4	4	0	0	0	0	27.9682084746	12.656
28	N2	2	-3	2	1	0	0	0	28.4397295415	63.686
29	NU2	2	-3	4	-1	0	0	0	28.5125831704	315.289
30	OP2	2	-2	0	0	0	0	180	28.9019669586	345.948
31	M2	2	-2	2	0	0	0	0	28.9841042373	6.328
32	MKS2	2	-2	4	0	0	0	0	29.0662415160	206.708

33	LAMBDA2	2	-1	0	1	0	0	180	29.4556253042	262.974
34	L2	2	-1	2	-1	0	0	180	29.5284789331	128.970
35	T2	2	0	-1	0	0	1	0	29.9589333224	1.031
36	S2	2	0	0	0	0	0	0	30.0000000000	0.000
37	R2	2	0	1	0	0	-1	180	30.0410666776	100.190
38	K2	2	0	2	0	0	0	0	30.0821372786	200.382
39	MSN2	2	1	0	-1	0	0	0	30.5443746958	302.642
40	KJ2	2	1	2	-1	0	0	180	30.6265119744	323.022
41	2SM2	2	2	-2	0	0	0	0	31.0158957627	353.672
42	MO3	3	-4	3	0	0	0	270	42.9271398535	2.466
43	M3	3	-3	3	0	0	0	180	43.4761563560	9.492
44	SO3	3	-2	1	0	0	0	270	43.9430355980	356.135
45	MK3	3	-2	3	0	0	0	0	44.0251728766	16.518
46	SK3	3	0	1	0	0	0	90	45.0410686393	10.190
47	MN4	4	-5	4	1	0	0	0	57.4238337789	70.014
48	M4	4	-4	4	0	0	0	0	57.9682084746	12.656
49	SN4	4	-3	2	1	0	0	0	58.4397295415	63.686
50	MS4	4	-2	2	0	0	0	0	58.9841042373	6.328
51	MK4	4	-2	4	0	0	0	0	59.0662415160	206.708
52	S4	4	0	0	0	0	0	0	60.0000000000	0.000
53	SK4	4	0	2	0	0	0	0	60.0821372786	200.380
54	2MN6	6	-7	6	1	0	0	0	86.4079380162	76.342
55	M6	6	-6	6	0	0	0	0	86.9523127120	18.984
56	MSN6	6	-5	4	1	0	0	0	87.4238337789	70.014
57	2MS6	6	-4	4	0	0	0	0	87.9682084746	12.656
58	2MK6	6	-4	6	0	0	0	0	88.0503457533	213.036
59	2SM6	6	-2	-2	0	0	0	0	88.9841042373	6.328
60	MSK6	6	-2	4	0	0	0	0	89.0662415160	206.708
61	M8	8	-8	8	0	0	0	0	115.936416949	25.312
62	2MSN8	8	-7	6	1	0	0	0	116.40793801	76.342
63	3MS8	8	-6	6	0	0	0	0	116.952312712	18.984
64	2(MS)8	8	-4	4	0	0	0	0	117.968208475	12.656

## 1.1 Formula $f$ dan $\mu$

**Jadual B.2** Formula  $f$  dan  $\mu$

No	Nama Juzuk	$f$	$\mu$
1	SA	1	0
2	SSA	1	0
3	MM	$1.0 - 0.1300 \cos N + 0.0013 \cos 2N$	0
4	MSF	FM2	$-\mu M2$
5	MF	$1.0429 + 0.4135 \cos N - 0.0040 \cos 2N$	$-23.74 \sin N + 2.68 \sin 2N - 0.38 \sin 3N$
6	2Q1	$1.0089 + 0.1871 \cos N - 0.0147 \cos 2N + 0.0014 \cos 3N$	$10.8 \sin N - 1.34 \sin 2N + 0.19 \sin 3N$
7	SIGMA1	$1.0089 + 0.1871 \cos N - 0.0147 \cos 2N + 0.0014 \cos 3N$	$10.8 \sin N - 1.34 \sin 2N + 0.19 \sin 3N$
8	Q1	$1.0089 + 0.1871 \cos N - 0.0147 \cos 2N + 0.0014 \cos 3N$	$10.8 \sin N - 1.34 \sin 2N + 0.19 \sin 3N$
9	RO1	$1.0089 + 0.1871 \cos N - 0.0147 \cos 2N + 0.0014 \cos 3N$	$10.8 \sin N - 1.34 \sin 2N + 0.19 \sin 3N$

10	O1	$1.0089 + 0.1871 \cos N - 0.0147 \cos 2N + 0.0014 \cos 3N$	$10.8 \sin N - 1.34 \sin 2N + 0.19 \sin 3N$
11	MP1	$1.0004 - 0.0373 \cos N + 0.0002 \cos 2N$	$-2.14 \sin N$
12	M1	$1^*$	$1^*$
13	CHI1	$1.0129 + 0.1676 \cos N - 0.0170 \cos 2N + 0.0016 \cos 3N$	$-12.94 \sin N + 1.34 \sin 2N - 0.19 \sin 3N$
14	PI1	1	0
15	P1	1	0
16	S1	1	0
17	K1	$1.0060 + 0.1150 \cos N - 0.0088 \cos 2N + 0.0006 \cos 3N$	$-8.86 \sin N + 0.68 \sin 2N - 0.07 \sin 3N$
18	PSI1	1	0
19	FI1	1	0
20	THETA1	$fJ1$	$\mu J1$
21	J1	$1.0129 + 0.1676 \cos N - 0.0170 \cos 2N + 0.0016 \cos 3N$	$-12.94 \sin N + 1.34 \sin 2N - 0.19 \sin 3N$
22	SO1	$fO1$	$-\mu O1$
23	OO1	$1.1027 + 0.6504 \cos N + 0.0317 \cos 2N - 0.0014 \cos 3N$	$-36.68 \sin N + 4.02 \sin 2N - 0.57 \sin 3N$
24	OQ2	$fO1 \times fO1$	$2 \mu O1$
25	MNS2	$fM2 \times fM2$	$2 \mu M2$
26	2N2	$fM2$	$\mu M2$
27	MU2	$fM2$	$\mu M2$
28	N2	$fM2$	$\mu M2$
29	NU2	$fM2$	$\mu M2$
30	OP2	$fO1$	$\mu O1$
31	M2	$1.0004 - 0.0373 \cos N + 0.0002 \cos 2N$	$-2.14 \sin N$
32	MKS2	$fM2 \times fK2$	$\mu M2 + \mu K2$
33	LAMBDA2	$fM2$	$\mu M2$
34	L2	$2^*$	$2^*$
35	T2	1	0
36	S2	1	0
37	R2	1	0
38	K2	$1.0241 + 0.2863 \cos N + 0.0083 \cos 2N - 0.0015 \cos 3N$	$-17.74 \sin N + 0.68 \sin 2N - 0.04 \sin 3N$
39	MSN2	$fM2 \times fM2$	0
40	KJ2	$fK1 \times fJ1$	$\mu K1 + \mu J1$
41	2SM2	$fM2$	$-\mu M2$
42	MO3	$fM2 \times fO1$	$\mu M2 + \mu O1$
43	M3	$(fM2)^{3/2}$	$3/2 \mu M2$
44	SO3	$fO1$	$\mu O1$
45	MK3	$fM2 \times fK1$	$\mu M2 + \mu K1$
46	SK3	$fK1$	$\mu K1$
47	MN4	$fM4$	$\mu M4$
48	M4	$fM2 \times fM2$	$2 \mu M2$
49	SN4	$fM2$	$\mu M2$
50	MS4	$fM2$	$\mu M2$
51	MK4	$fM2 \times fK2$	$\mu M2 + \mu K2$
52	S4	1	0
53	SK4	$fK2$	$\mu K2$
54	2MN6	$fM6$	$3 \mu M2$
55	M6	$fM2 \times fM4$	$3 \mu M2$
56	MSN6	$fM4$	$\mu M4$
57	2MS6	$fM4$	$\mu M4$
58	2MK6	$fM4 \times fK2$	$\mu M4 + \mu K2$
59	2SM6	$fM2$	$\mu M2$
60	MSK6	$fM2 \times fK2$	$\mu M2 + \mu K2$

61	M8	fM4 x fM4	$4\mu$ M2
62	2MSN8	$(fM2)^3$	$3\mu$ M2
63	3MS8	$(fM2)^3$	$3\mu$ M2
64	2(MS)8	$(fM2)^2$	$2\mu$ M2

Catatan:

Menghitung nilai 1\*:

$$f_{M_1} \cos \mu_{M_1} = 2 \cos p + 0.4 \cos(p - N)$$

$$f_{M_1} \sin \mu_{M_1} = \sin p + 0.2 \sin(p - N)$$

jika,

$$a = f_{M_1} \cos \mu_{M_1}$$

$$b = f_{M_1} \sin \mu_{M_1}$$

maka,

$$f_{M_1} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\mu_{M_1} = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right)$$

Menghitung nilai 2\*:

$$f_{L_2} \cos \mu_{L_2} = 1 - 0.2505 \cos 2p - 0.1102 \cos(2p - N) - 0.0156 \cos(2p - 2N) - 0.370 \cos N$$

$$f_{L_2} \sin \mu_{L_2} = -0.2505 \sin 2p - 0.1102 \sin(2p - N) - 0.0156 \sin(2p - 2N) - 0.0370 \sin N$$

jika,

$$c = f_{L_2} \cos \mu_{L_2}$$

$$b = f_{L_2} \sin \mu_{L_2}$$

maka,

$$f_{L_2} = \sqrt{c^2 + d^2}$$

$$\mu_{L_2} = \tan^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$$

## LAMPIRAN C

### Hasil Hitungan Analisis Pasang Surut Secara Lengkap

#### 1.0 Hasil Analisis Pasang Surut Bagi Stesen Pasang Surut Johor Bahru

##### REPORT ANALYSIS

Station: Johor Bahru

Observation periode: 5 year

Types of Tide: Mixed Mainly Semi-Diurnal (F=0.508)

MSL on Tide Gauge is: 2.860

##### WATER LEVEL

Chart Datum: Indian Spring Low Water (ISLW)

ISLW(Zo): 1.825

MLWS	MLWN	MSL	MHWN	MHWS
0.614	1.295	1.825	2.354	3.035

Chart Datum: Lowest Astronomical Tide (LAT)

LAT(Zo): 2.160

LAT	MLWS	MLWN	MSL	MHWN	MHWS	HAT
0	0.949	1.63	2.16	2.689	3.37	3.944

Standard Deviation is: 0.082

Period of observation is: 1826.958 days

Constituent	Amplitude (metres)	Phase ( ° )
SA	0.131144255	281.1015145
SSA	0.017907648	175.3333554
MM	0.011841548	63.54642286
MSF	0.018422713	66.58769059
MF	0.008331760	281.5465513
2Q1	0.008013166	328.2831520
SIGMA1	0.002482767	256.4789560
Q1	0.065636051	6.431970557
RO1	0.012880365	15.47354177
O1	0.311475016	41.18837113
MP1	0.005912407	269.9590416
M1	0.011394700	9.735808149
CHI1	0.002806928	68.87423191
PI1	0.007396646	75.89049844
P1	0.095036870	96.44819818
S1	0.010759211	203.7082752
K1	0.302831372	111.5819307
PSI1	0.007620914	34.15389802
FI1	0.006182035	163.2537211
THETA1	0.004084151	156.9057342

J1	0.014445673	125.2746987
SO1	0.006206318	345.4991708
OO1	0.007088599	301.9116100
OQ2	0.001207329	255.3884692
MNS2	0.003827623	95.38451001
2N2	0.023245880	271.0601406
MU2	0.003506991	157.9810815
N2	0.166709759	301.6080849
NU2	0.034966583	307.6808493
OP2	0.006342730	100.0627060
M2	0.869815397	326.3947766
MKS2	0.013455375	80.14131886
LAMBDA2	0.018091875	16.59637672
L2	0.030780815	356.3541396
T2	0.016156673	355.1742288
S2	0.340462637	22.67327617
R2	0.002001281	342.5789466
K2	0.104324717	35.93951648
MSN2	0.011327842	221.2781877
KJ2	0.003218870	262.4330178
2SM2	0.018988880	255.0272682
MO3	0.014395675	45.25701678
M3	0.004197892	294.9948416
SO3	0.01929842	111.6184250
MK3	0.026815902	107.6100052
SK3	0.006284065	197.9671685
MN4	0.017837449	7.371891305
M4	0.049464860	19.85587754
SN4	0.005023801	98.24151142
MS4	0.047324102	70.55483911
MK4	0.029572848	27.80342824
S4	0.002314438	154.1687906
SK4	0.002984129	284.6147843
2MN6	0.008101947	200.9834797
M6	0.016606499	211.5887674
MSN6	0.008640569	280.4836812
2MS6	0.030405151	269.9976810
2MK6	0.009014467	269.8851806
2SM6	0.013339940	356.9152149
MSK6	0.007798540	353.3281792
M8	0.005497738	298.4671200
2MSN8	0.005655696	332.4837963
3MS8	0.012166877	349.3466021
2(MS)8	0.006067956	47.49925870

## LAMPIRAN D

Jadual Ramalan  $\mu$ -TAPS

## 1.0 Hasil Analisis bagi Stesen Pasang Surut Johor Bahru Bulan November 2005

## (i) Jadual ramalan pasang surut bagi UTM bulan November 2005

		JOHOR DARUL TAKZIM Lat: 01 26 12 N Long: 103 55 30 E																							
YEAR 2005		NOVEMBER																							
		HEIGHTS IN METRES																							
Hour		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Date																									
1	3.13	2.76	2.27	1.73	1.32	1.23	1.49	1.92	2.39	2.84	3.20	3.33	3.17	2.76	2.21	1.59	1.08	0.91	1.14	1.63	2.17	2.69	3.15	3.41	
2	3.39	3.12	2.68	2.13	1.58	1.29	1.38	1.75	2.23	2.70	3.13	3.38	3.34	3.00	2.46	1.80	1.15	0.74	0.78	1.20	1.78	2.37	2.92	3.36	
3	3.52	3.40	3.05	2.56	1.98	1.51	1.39	1.64	2.09	2.55	2.99	3.34	3.44	3.22	2.73	2.09	1.37	0.76	0.53	0.79	1.35	1.98	2.59	3.14	
4	3.49	3.54	3.33	2.95	2.43	1.88	1.55	1.61	1.98	2.42	2.85	3.23	3.46	3.38	2.99	2.40	1.69	0.98	0.50	0.48	0.92	1.55	2.18	2.78	
5	3.28	3.52	3.48	3.22	2.82	2.31	1.86	1.70	1.91	2.32	2.73	3.10	3.39	3.46	3.22	2.71	2.06	1.34	0.70	0.39	0.57	1.10	1.73	2.35	
6	2.91	3.31	3.46	3.35	3.08	2.69	2.25	1.93	1.93	2.23	2.62	2.97	3.27	3.44	3.37	3.01	2.44	1.78	1.10	0.58	0.44	0.73	1.28	1.87	
7	2.44	2.93	3.24	3.31	3.19	2.94	2.60	2.27	2.09	2.19	2.50	2.83	3.12	3.33	3.40	3.22	2.80	2.24	1.61	1.02	0.63	0.60	0.92	1.42	
8	1.94	2.43	2.84	3.09	3.14	3.03	2.84	2.59	2.35	2.27	2.40	2.66	2.92	3.13	3.28	3.28	3.07	2.66	2.15	1.60	1.11	0.82	0.83	1.10	
9	1.49	1.92	2.34	2.70	2.92	2.98	2.93	2.81	2.63	2.47	2.41	2.50	2.67	2.84	3.01	3.13	3.13	2.95	2.61	2.20	1.76	1.35	1.09	1.05	
10	1.22	1.49	1.83	2.21	2.55	2.77	2.88	2.90	2.85	2.71	2.55	2.44	2.43	2.50	2.62	2.78	2.94	2.99	2.90	2.68	2.39	2.02	1.65	1.36	
11	1.24	1.27	1.44	1.74	2.11	2.46	2.72	2.88	2.96	2.92	2.76	2.53	2.32	2.19	2.18	2.30	2.52	2.76	2.91	2.94	2.85	2.65	2.33	1.95	
12	1.59	1.35	1.28	1.40	1.71	2.10	2.47	2.77	2.98	3.06	2.97	2.71	2.37	2.03	1.80	1.77	1.96	2.29	2.63	2.89	3.05	3.08	2.92	2.60	
13	2.18	1.74	1.40	1.28	1.43	1.78	2.20	2.59	2.92	3.12	3.13	2.93	2.56	2.08	1.62	1.35	1.38	1.69	2.13	2.57	2.95	3.21	3.28	3.12	
14	2.78	2.31	1.81	1.43	1.34	1.57	1.97	2.40	2.80	3.12	3.25	3.13	2.79	2.28	1.69	1.17	0.94	1.10	1.54	2.07	2.59	3.06	3.36	3.42	
15	3.23	2.86	2.34	1.81	1.47	1.48	1.80	2.23	2.66	3.04	3.30	3.30	3.03	2.56	1.93	1.26	0.75	0.65	0.97	1.51	2.10	2.68	3.18	3.46	
16	3.47	3.24	2.83	2.29	1.79	1.55	1.70	2.08	2.52	2.93	3.26	3.41	3.26	2.85	2.26	1.55	0.86	0.47	0.54	0.98	1.58	2.21	2.81	3.27	
17	3.49	3.43	3.16	2.73	2.20	1.78	1.70	1.96	2.37	2.79	3.17	3.42	3.42	3.12	2.60	1.92	1.19	0.58	0.35	0.58	1.10	1.73	2.36	2.93	
18	3.32	3.44	3.32	3.02	2.58	2.11	1.83	1.89	2.22	2.63	3.02	3.34	3.48	3.34	2.92	2.32	1.60	0.91	0.44	0.39	0.73	1.29	1.92	2.52	
19	3.03	3.32	3.35	3.17	2.84	2.42	2.05	1.92	2.09	2.44	2.83	3.18	3.42	3.45	3.19	2.69	2.04	1.34	0.75	0.45	0.54	0.95	1.52	2.11	
20	2.66	3.07	3.25	3.21	2.99	2.65	2.29	2.05	2.05	2.27	2.62	2.98	3.27	3.42	3.33	2.98	2.44	1.79	1.17	0.72	0.58	0.78	1.20	1.73	
21	2.28	2.74	3.05	3.14	3.03	2.79	2.49	2.22	2.11	2.19	2.43	2.74	3.05	3.28	3.33	3.16	2.76	2.21	1.63	1.12	0.82	0.80	1.04	1.44	
22	1.92	2.38	2.76	2.97	2.99	2.86	2.63	2.39	2.23	2.20	2.31	2.53	2.80	3.04	3.19	3.17	2.95	2.55	2.05	1.56	1.19	1.01	1.06	1.28	
23	1.63	2.04	2.43	2.72	2.86	2.85	2.72	2.54	2.36	2.27	2.28	2.38	2.55	2.76	2.95	3.05	2.98	2.75	2.40	1.99	1.61	1.34	1.24	1.29	
24	1.47	1.76	2.11	2.44	2.67	2.77	2.76	2.65	2.51	2.38	2.31	2.31	2.35	2.47	2.64	2.80	2.87	2.81	2.62	2.34	2.02	1.74	1.54	1.45	
25	1.47	1.59	1.83	2.14	2.44	2.64	2.74	2.74	2.65	2.52	2.39	2.29	2.23	2.21	2.29	2.46	2.63	2.71	2.69	2.56	2.39	2.14	1.90	1.73	
26	1.60	1.56	1.64	1.88	2.19	2.47	2.68	2.79	2.80	2.70	2.53	2.34	2.17	2.02	1.97	2.07	2.28	2.49	2.63	2.68	2.65	2.51	2.29	2.06	
27	1.84	1.66	1.58	1.67	1.94	2.28	2.57	2.79	2.91	2.89	2.72	2.44	2.19	1.92	1.71	1.68	1.86	2.15	2.43	2.64	2.78	2.79	2.67	2.44	
28	2.17	1.88	1.64	1.57	1.73	2.06	2.42	2.73	2.96	3.05	2.95	2.68	2.32	1.93	1.56	1.36	1.43	1.73	2.11	2.46	2.75	2.94	2.97	2.81	
29	2.55	2.21	1.85	1.60	1.59	1.85	2.23	2.61	2.93	3.14	3.15	2.94	2.55	2.07	1.56	1.17	1.05	1.27	1.69	2.16	2.58	2.94	3.14	3.12	
30	2.92	2.60	2.19	1.78	1.58	1.68	2.03	2.44	2.82	3.13	3.28	3.18	2.83	2.32	1.73	1.15	0.80	0.84	1.22	1.75	2.28	2.76	3.14	3.31	

## (ii) Jadual ramalan pasang surut bagi RMN bulan November 2005

PASIR GUDANG, JOHOR DARUL TAKZIM																										
YEAR 2005		Lat 01 26 N													Long 103 54 E											
TIME ZONE -0800		NOVEMBER													HEIGHTS IN METRES											
Hour		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	T	3.0	2.6	2.1	1.6	1.3	1.4	1.6	1.9	2.3	2.8	3.2	3.3	3.0	2.5	1.9	1.4	1.1	1.0	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1	3.4	
2	W	3.3	3.0	2.5	1.9	1.5	1.4	1.5	1.8	2.2	2.6	3.1	3.4	3.2	2.8	2.2	1.6	1.0	0.8	1.0	1.3	1.8	2.3	2.8	3.3	
3	Th	3.4	3.3	2.9	2.4	1.8	1.5	1.5	1.8	2.1	2.5	2.9	3.3	3.4	3.0	2.4	1.8	1.2	0.8	0.7	1.0	1.4	1.9	2.5	3.0	
4	F	3.4	3.4	3.2	2.8	2.3	1.8	1.6	1.8	2.1	2.4	2.8	3.1	3.4	3.3	2.7	2.1	1.4	0.9	0.6	0.8	1.1	1.5	2.1	2.6	
5	Sa	3.1	3.4	3.3	3.0	2.6	2.2	1.8	1.8	2.0	2.3	2.7	3.0	3.3	3.4	3.1	2.4	1.7	1.1	0.7	0.6	0.8	1.2	1.6	2.2	
6	Su	2.8	3.2	3.3	3.2	2.9	2.5	2.1	1.9	2.0	2.2	2.5	2.9	3.2	3.4	3.3	2.8	2.2	1.5	1.0	0.7	0.7	0.9	1.3	1.8	
7	M	2.3	2.8	3.1	3.2	3.1	2.8	2.5	2.2	2.0	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2	3.3	3.1	2.6	2.0	1.4	1.0	0.7	0.8	1.0	1.4	
8	T	1.8	2.3	2.7	3.0	3.0	3.0	2.8	2.5	2.2	2.2	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2	3.2	3.0	2.5	2.0	1.5	1.1	0.9	1.0	1.1	
9	W	1.4	1.8	2.2	2.6	2.8	2.9	2.9	2.8	2.6	2.6	2.3	2.3	2.5	2.7	2.8	3.0	3.0	2.8	2.5	2.1	1.7	1.4	1.1	1.1	
10	Th	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	2.7	2.9	3.0	2.9	2.6	2.4	2.3	2.3	2.3	2.5	2.6	2.8	2.8	2.6	2.3	2.0	1.6	1.1	1.4	
11	F	1.3	1.3	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.0	2.9	2.7	2.3	2.1	2.1	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	2.6	2.3	1.9	
12	Sa	1.5	1.3	1.3	1.4	1.6	2.0	2.4	2.8	3.1	3.2	3.2	2.8	2.2	1.9	1.8	1.8	1.9	2.2	2.8	3.0	3.0	2.9	2.5	2.5	
13	Su	2.0	1.6	1.4	1.3	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.2	3.2	2.8	2.4	1.9	1.6	1.4	1.5	1.7	2.0	2.5	2.9	3.2	3.3	3.1	
14	M	2.6	2.1	1.6	1.4	1.4	1.5	1.9	2.3	2.8	3.2	3.3	3.1	2.6	2.1	1.6	1.2	1.1	1.2	1.6	2.0	2.6	3.0	3.4	3.4	
15	T	3.2	2.7	2.1	1.6	1.4	1.5	1.7	2.1	2.6	3.0	3.4	3.3	2.9	2.4	1.8	1.2	0.9	0.9	1.1	1.5	2.1	2.7	3.2	3.5	
16	W	3.5	3.2	2.7	2.1	1.6	1.5	1.7	2.0	2.4	2.8	3.2	3.4	3.2	2.7	2.1	1.4	0.9	0.7	0.8	1.1	1.6	2.2	2.8	3.3	
17	Th	3.4	3.5	3.1	2.6	2.0	1.7	1.7	1.9	2.4	2.8	3.2	3.4	3.4	3.0	2.4	1.7	1.1	0.7	0.6	0.8	1.2	1.7	2.4	2.9	
18	F	3.4	3.4	3.4	3.0	2.5	2.0	1.7	1.7	1.8	2.2	2.6	3.1	3.4	3.3	2.8	2.1	1.1	0.9	0.6	0.6	0.9	1.4	1.9	2.5	
19	Sa	3.4	3.4	3.3	2.9	2.4	1.8	1.5	1.9	2.0	2.3	2.7	3.0	3.3	3.4	3.1	2.6	1.6	1.0	0.7	0.8	0.6	0.8	1.1	1.5	2.1
20	Su	2.6	3.1	3.3	3.3	3.1	2.7	2.2	2.0	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.2	2.9	2.3	1.7	1.1	0.8	0.8	1.0	1.3	1.8	
21	M	2.3	2.7	3.0	3.2	3.1	2.8	2.5	2.2	2.0	2.1	2.4	2.7	2.9	3.2	3.2	3.0	2.6	2.1	1.5	1.1	1.0	1.0	1.2	1.6	
22	T	1.8	2.2	2.5	2.7	2.8	2.9	2.6	2.4	2.2	2.1	2.3	2.5	2.8	3.0	3.1	3.0	2.8	2.4	1.9	1.5	1.2	1.1	1.2	1.5	
23	W	1.8	2.2	2.5	2.7	2.8	2.9	2.6	2.4	2.2	2.1	2.3	2.5	2.8	3.0	3.1	3.0	2.8	2.4	2.2	1.5	1.2	1.1	1.4	1.5	
24	Th	1.7	1.9	2.2	2.5	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.2	2.3	2.5	2.6	2.6	2.5	2.7	2.5	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	
25	F	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.5	2.3	2.1	1.9	
26	Sa	1.7	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	2.8	2.7	2.5	2.2	2.1	2.0	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	
27	Su	1.8	1.7	1.7	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	2.9	2.9	2.7	2.4	2.1	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	2.0	2.0	2.0	2.2	2.9	2.8	
28	M	2.1	1.9	1.7	1.7	1.8	1.9	2.1	2.4	2.5	2.5	2.4	2.6	2.3	1.8	1.5	1.4	1.5	1.8	1.7	2.1	2.5	2.9	3.1	3.2	
29	T	2.5	2.1	1.8	1.7	1.8	2.0	2.2	2.5	2.5	2.9	3.1	3.1	2.8	2.3	1.8	1.4	1.1	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	2.9	3.1	
30	W	2.9	2.5	2.1	1.8	1.7	1.9	2.1	2.4	2.4	2.8	3.1	3.2	3.1	2.6	2.0	1.5	1.0	0.9	1.0	1.4	1.8	2.2	2.7	3.1	



## 2.0 Hasil Analisis Stesen Pasang Surut Johor Bahru Bagi Bulan Disember 2005

### (i) Jadual ramalan pasang surut bagi UTM bulan Disember 2005

JOHOR DARUL TAKZIM Lat: 01 26 12 N Long: 103 55 30 E																								
YEAR 2006																								
DECEMBER																								
HEIGHTS IN METRES																								
Hour	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Date																								
1	3.15	2.92	2.54	2.08	1.69	1.59	1.81	2.21	2.62	2.99	3.27	3.32	3.09	2.54	1.93	1.36	0.79	0.55	0.85	1.24	1.81	2.38	2.88	3.24
2	3.36	3.24	2.96	2.52	2.02	1.70	1.72	2.03	2.45	2.85	3.20	3.40	3.34	2.98	2.31	1.61	0.99	0.47	0.39	0.74	1.32	1.94	2.54	3.05
3	3.38	3.44	3.28	2.94	2.46	1.98	1.76	1.90	2.27	2.69	3.07	3.37	3.48	3.28	2.71	2.05	1.39	0.68	0.38	0.45	0.81	1.44	2.08	2.68
4	3.18	3.45	3.45	3.24	2.87	2.38	1.98	1.88	2.12	2.52	2.91	3.26	3.49	3.49	3.18	2.51	1.89	1.12	0.48	0.30	0.51	0.94	1.57	2.21
5	2.80	3.25	3.45	3.39	3.15	2.76	2.32	2.01	2.03	2.33	2.73	3.09	3.39	3.50	3.40	3.04	2.42	1.69	0.96	0.41	0.39	0.55	1.10	1.71
6	2.31	2.87	3.25	3.37	3.27	3.01	2.65	2.26	2.06	2.17	2.50	2.86	3.19	3.44	3.54	3.35	2.89	2.27	1.58	0.92	0.57	0.53	0.76	1.27
7	1.83	2.39	2.88	3.18	3.24	3.11	2.88	2.55	2.23	2.11	2.27	2.57	2.89	3.18	3.40	3.44	3.21	2.76	2.20	1.59	1.02	0.67	0.69	1.00
8	1.44	1.93	2.43	2.85	3.07	3.09	2.98	2.76	2.46	2.20	2.13	2.28	2.52	2.78	3.06	3.26	3.28	3.06	2.69	2.23	1.71	1.24	0.98	1.00
9	1.24	1.58	2.01	2.46	2.80	2.96	2.98	2.89	2.69	2.50	2.16	2.08	2.15	2.32	2.56	2.84	3.05	3.09	2.96	2.70	2.35	1.93	1.54	1.32
10	1.30	1.43	1.71	2.09	2.48	2.76	2.91	2.94	2.85	2.63	2.34	2.08	1.92	1.89	2.01	2.27	2.57	2.81	2.92	2.91	2.78	2.53	2.20	1.87
11	1.64	1.53	1.59	1.84	2.18	2.52	2.77	2.93	2.96	2.84	2.58	2.25	1.91	1.64	1.54	1.67	1.96	2.31	2.61	2.83	2.94	2.91	2.73	2.47
12	2.16	1.87	1.69	1.73	1.97	2.30	2.61	2.86	3.01	3.01	2.83	2.51	2.10	1.65	1.30	1.18	1.35	1.71	2.11	2.49	2.81	3.01	3.04	2.92
13	2.68	2.34	1.99	1.80	1.86	2.11	2.44	2.74	2.99	3.11	3.05	2.79	2.39	1.87	1.33	0.94	0.88	1.13	1.55	2.01	2.47	2.86	3.10	3.15
14	3.05	2.79	2.40	2.03	1.87	1.99	2.27	2.60	2.91	3.14	3.21	3.05	2.71	2.21	1.59	1.00	0.66	0.70	1.03	1.51	2.02	2.53	2.94	3.18
15	3.23	3.10	2.79	2.37	2.03	1.94	2.13	2.44	2.77	3.07	3.27	3.26	3.01	2.57	1.97	1.30	0.73	0.49	0.63	1.04	1.57	2.12	2.64	3.04
16	3.25	3.25	3.06	2.70	2.28	2.01	2.02	2.26	2.60	2.94	3.22	3.36	3.26	2.92	2.38	1.71	1.03	0.54	0.43	0.68	1.15	1.70	2.27	2.78
17	3.14	3.28	3.20	2.94	2.55	2.17	1.99	2.10	2.40	2.75	3.09	3.34	3.40	3.21	2.77	2.15	1.46	0.83	0.46	0.47	0.81	1.32	1.89	2.45
18	2.93	3.21	3.25	3.09	2.77	2.38	2.07	2.00	2.19	2.53	2.89	3.21	3.41	3.40	3.10	2.57	1.92	1.24	0.70	0.47	0.60	1.00	1.53	2.10
19	2.64	3.04	3.22	3.16	2.92	2.57	2.21	2.00	2.04	2.30	2.65	3.00	3.30	3.44	3.32	2.93	2.35	1.70	1.08	0.66	0.57	0.80	1.23	1.76
20	2.31	2.80	3.10	3.16	3.01	2.72	2.37	2.08	1.98	2.12	2.41	2.75	3.09	3.34	3.39	3.17	2.72	2.13	1.51	0.99	0.72	0.75	1.04	1.48
21	2.00	2.51	2.91	3.09	3.04	2.83	2.52	2.20	2.01	2.01	2.21	2.50	2.82	3.13	3.31	3.26	2.97	2.49	1.94	1.39	1.00	0.87	1.00	1.31
22	1.74	2.22	2.67	2.95	3.01	2.89	2.64	2.34	2.08	1.98	2.06	2.27	2.54	2.84	3.10	3.20	3.06	2.74	2.29	1.80	1.36	1.11	1.10	1.32
23	1.58	1.98	2.42	2.77	2.93	2.90	2.74	2.48	2.19	2.00	1.98	2.09	2.27	2.52	2.79	3.00	3.01	2.85	2.55	2.16	1.74	1.43	1.30	1.36
24	1.53	1.81	2.19	2.56	2.81	2.88	2.81	2.63	2.36	2.10	1.96	1.96	2.04	2.19	2.43	2.68	2.84	2.82	2.67	2.43	2.11	1.78	1.58	1.53
25	1.59	1.73	2.00	2.35	2.66	2.83	2.86	2.77	2.56	2.27	2.03	1.90	1.86	1.89	2.03	2.29	2.54	2.67	2.68	2.59	2.41	2.15	1.92	1.78
26	1.74	1.75	1.88	2.14	2.47	2.72	2.86	2.87	2.76	2.52	2.22	1.96	1.78	1.66	1.66	1.84	2.13	2.39	2.56	2.63	2.62	2.49	2.29	2.11
27	1.98	1.87	1.84	1.94	2.25	2.56	2.79	2.92	2.93	2.78	2.49	2.15	1.83	1.55	1.38	1.40	1.64	1.99	2.30	2.53	2.69	2.73	2.64	2.49
28	2.31	2.11	1.93	1.88	2.04	2.34	2.65	2.88	3.02	3.01	2.81	2.46	2.06	1.63	1.25	1.06	1.15	1.48	1.89	2.27	2.59	2.82	2.90	2.84
29	2.69	2.46	2.17	1.94	1.91	2.12	2.44	2.75	3.00	3.14	3.08	2.82	2.41	1.90	1.36	0.92	0.76	0.95	1.37	1.86	2.31	2.71	2.99	3.10
30	3.05	2.86	2.55	2.18	1.93	1.95	2.21	2.56	2.89	3.14	3.26	3.15	2.82	2.30	1.69	1.06	0.61	0.52	0.82	1.33	1.88	2.40	2.86	3.18
31	3.29	3.21	2.95	2.55	2.14	1.92	2.01	2.33	2.70	3.04	3.29	3.38	3.21	2.78	2.06	1.45	0.77	0.35	0.37	0.77	1.34	1.94	2.52	3.02

### (ii) Jadual ramalan pasang surut bagi RMN bulan Disember 2005

TIME ZONE -0800							DECEMBER							HEIGHTS IN METRES										
Hour	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1 Th	3.2	2.9	2.5	2.0	1.8	1.8	2.0	2.3	2.6	3.0	3.3	3.3	2.9	2.3	1.7	1.1	0.7	0.7	1.0	1.4	1.8	2.4	2.9	3.2
2 F	3.3	3.2	2.9	2.5	2.0	1.8	1.9	2.2	2.5	2.9	3.2	3.3	3.2	2.7	2.1	1.4	0.8	0.5	0.6	1.0	1.4	2.0	2.5	3.0
3 Sa	3.3	3.4	3.2	2.9	2.4	2.0	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.4	3.1	2.5	1.8	1.2	0.7	0.5	0.7	1.0	1.5	2.1	2.6
4 Su	3.1	3.4	3.4	3.2	2.8	2.4	2.0	2.0	2.2	2.5	2.9	3.2	3.4	3.3	2.9	2.3	1.6	1.0	0.6	0.5	0.7	1.1	1.6	2.2
5 M	2.7	3.2	3.4	3.3	3.1	2.8	2.3	2.0	2.1	2.3	2.7	3.0	3.3	3.4	3.3	2.8	2.2	1.5	1.0	0.6	0.6	0.8	1.2	1.7
6 T	2.3	2.8	3.2	3.3	3.3	3.0	2.7	2.2	2.0	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.4	3.2	2.7	2.1	1.5	1.0	0.7	0.7	0.9	1.3
7 W	1.8	2.3	2.8	3.2	3.3	3.2	2.9	2.5	2.2	2.0	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2	3.3	3.1	2.7	2.1	1.6	1.1	0.9	0.9	1.1
8 Th	1.5	1.9	2.4	2.8	3.1	3.2	3.1	2.8	2.4	2.1	2.0	2.1	2.3	2.5	2.8	3.0	3.1	3.0	2.6	2.2	1.7	1.3	1.1	1.2
9 F	1.3	1.6	2.0	2.4	2.8	3.1	3.1	3.0	2.7	2.3	2.0	1.9	2.0	2.1	2.3	2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.3	1.9	1.6	1.4
10 Sa	1.4	1.5	1.7	2.1	2.5	2.8	3.0	3.1	3.0	2.6	2.2	1.9	1.8	1.8	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	2.9	2.8	2.5	2.2	1.9
11 Su	1.6	1.6	1.7	1.8	2.1	2.5	2.8	3.1	3.1	2.9	2.6	2.1	1.8	1.6	1.5	1.6	1.8	2.1	2.5	2.7	2.9	2.9	2.7	2.4
12 M	2.1	1.8	1.7	1.8	1.9	2.2	2.6	2.9	3.1	3.1	2.9	2.5	2.0	1.6	1.3	1.2	1.3	1.6	1.9	2.4	2.8	3.0	3.1	3.0
13 T	2.7	2.3	1.9	1.8	1.8	2.0	2.3	2.7	3.0	3.2	3.1	2.8	2.3	1.8	1.3	1.0	0.9	1.1	1.4	1.9	2.4	2.8	3.2	3.3
14 W	3.1	2.8	2.4	2.0	1.9	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	3.2	3.1	2.7	2.1	1.5	1.0	0.8	0.8	1.0	1.4	1.9	2.5	2.9	3.3
15 Th	3.4	3.2	2.8	2.3	2.0	1.9	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.3	3.0	2.5	1.9	1.3	0.8	0.6	0.7	1.1	1.5	2.0	2.6	3.1
16 F	3.4	3.4	3.2	2.7	2.2	1.9	2.0	2.2	2.4	2.8	3.1	3.3	3.2	2.8	2.3	1.6	1.0	0.7	0.6	0.8	1.2	1.7	2.2	2.8
17 Sa	3.2	3.4	3.3	3.0	2.6	2.1	1.9	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.3	3.1	2.7	2.0	1.4	0.9	0.6	0.7	1.0	1.4	1.9	2.4
18 Su	2.9	3.3	3.4	3.2	2.8	2.4	2.0	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	3.3	3.3	3.0	2.4	1.8	1.2	0.8	0.8	1.1	1.6	2.1	2.6
19 M	2.6	3.1	3.3	3.2	3.0	2.6	2.3	2.1	1.9	2.3	2.6	2.9	3.2	3.2	3.2	2.8	2.1	1.6	1.1	0.8	0.8	1.1	1.4	1.9
20 T	2.4	2.8	3.1	3.2	3.0	2.7	2.3	2.0	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2	3.2	3.0	2.5	1.9	1.4	1.0	0.9	1.0	1.3	1.7
21 W	2.2	2.6	2.9	3.1	3.1	2.8	2.5	2.1	1.9	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.1	2.8	2.3	1.7	1.3	1.0	1.1	1.3	1.6
22 Th	2.0	2.4	2.8	3.0	3.0	2.9	2.6	2.3	2.0	1.9	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.0	2.9	2.6	2.1	1.3	1.2	1.3	1.6	2.1
23 F	1.8	2.2	2.6	2.9	3.0	2.9	2.6	2.5	2.1	2.0	2.0	2.1	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.7	2.4	2.0	1.6	1.4	1.4	1.5
24 Sa	1.7	2.1	2.5	2.7	2.7	2.7	2.8	2.5	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.9	2.2	2.4	2.4	2.6	2.3	2.0	1.7	1.6	1.6
25 Su	1.7	1.9	2.1	2.4	2.7	2.9	2.9	2.8	2.6	2.3	2.0	1.8	1.7	1.8	1.9	2.2	2.4	2.5	2.6	2.5	2.4	2.2	1.9	1.8
26 M	1.8	1.9	2.0	2.2	2.5	2.7	2.8	2.9	2.8	2.5	2.2	1.9	1.6	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.6	2.5	2.3	2.1
27 T	2.0	1.9	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	2.7	2.5	2.0	1.8	1.4	1.3	1.4	1.6	1.9	1.8	2.4	2.6	2.7	2.7	2.5
28 W	2.3	1.2	2.0	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.0	2.7	2.3	1.8	1.4	1.1	1.0	1.2	1.5	2.1	2.1	2.5	2.8	2.9	2.9
29 Th	2.7	2.4	2.2	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0	3.0	2.7	2.2	1.6	1.1	1.0	0.8	0.8	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	2.9
30 F	3.0	2.8	2.5	2.2	2.0	2.1	2.4	2.6	2.8	3.1	3.1	3.0	2.6	2.0	1.4	0.8	0.6	0.7	1.0	1.4	1.8	2.3	2.8	3.1
31 Sa	3.2	3.2	2.9	2.5	2.1	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.2	3.2	3.0	2.5	1.8	1.2	0.7	0.4	0.6	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9

### 3.0 Hasil Analisis Stesen Pasang Surut Johor Bahru Bagi Bulan Januari 2006

#### (i) Jadual ramalan pasang surut bagi UTM bulan Januari 2006

DOHOR DARUL TAKZIM Lat: 01 26 12 N Long: 103 55 30 E																								
YEAR 2006												JANUARY												
												HEIGHTS IN METRES												
Hour	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Date																								
1	3.35	3.43	3.29	2.96	2.50	2.07	1.92	2.10	2.47	2.86	3.19	3.40	3.42	3.13	2.60	1.90	1.23	0.54	0.29	0.41	0.80	1.41	2.04	2.66
2	3.18	3.47	3.48	3.27	2.88	2.38	1.99	1.93	2.21	2.61	3.00	3.35	3.50	3.47	3.11	2.50	1.84	1.04	0.48	0.26	0.47	0.91	1.53	2.18
3	2.82	3.31	3.51	3.43	3.16	2.72	2.21	1.90	1.96	2.31	2.73	3.13	3.40	3.55	3.48	3.13	2.48	1.71	0.92	0.40	0.22	0.65	1.10	1.71
4	2.36	2.97	3.37	3.45	3.30	2.97	2.50	2.03	1.83	1.99	2.38	2.80	3.21	3.47	3.51	3.40	3.02	2.37	1.62	0.89	0.54	0.55	0.82	1.35
5	1.94	2.56	3.09	3.34	3.32	3.11	2.74	2.26	1.86	1.77	2.00	2.38	2.79	3.11	3.44	3.50	3.25	2.89	2.29	1.61	1.00	0.79	0.89	1.15
6	1.64	2.19	2.74	3.13	3.25	3.15	2.90	2.50	2.05	1.74	1.72	1.95	2.30	2.61	3.11	3.30	3.40	3.16	2.77	2.26	1.69	1.23	1.06	1.19
7	1.50	1.93	2.42	2.86	3.11	3.13	2.99	2.70	2.30	1.90	1.66	1.65	1.83	2.14	2.44	2.81	3.13	3.15	2.99	2.70	2.30	1.88	1.57	1.47
8	1.57	1.82	2.19	2.59	2.90	3.05	3.02	2.85	2.55	2.17	1.82	1.59	1.53	1.65	1.93	2.20	2.63	2.85	2.92	2.86	2.68	2.42	2.15	1.94
9	1.84	1.88	2.07	2.38	2.68	2.90	2.99	2.95	2.77	2.47	2.11	1.76	1.49	1.35	1.43	1.68	2.03	2.35	2.60	2.75	2.80	2.73	2.60	2.43
10	2.24	2.10	2.09	2.24	2.48	2.72	2.89	2.97	2.92	2.73	2.44	2.08	1.69	1.34	1.15	1.20	1.45	1.79	2.13	2.44	2.68	2.81	2.84	2.80
11	2.66	2.43	2.24	2.19	2.32	2.53	2.74	2.91	2.99	2.94	2.74	2.44	2.04	1.58	1.16	0.95	1.01	1.27	1.63	2.02	2.39	2.69	2.89	2.98
12	2.95	2.77	2.49	2.26	2.21	2.34	2.56	2.78	2.96	3.04	2.98	2.77	2.43	1.96	1.42	0.97	0.77	0.87	1.18	1.58	2.01	2.43	2.77	3.00
13	3.10	3.02	2.76	2.44	2.21	2.19	2.35	2.59	2.84	3.04	3.13	3.05	2.79	2.37	1.81	1.23	0.79	0.65	0.82	1.18	1.62	2.10	2.55	2.91
14	3.12	3.15	2.98	2.65	2.30	2.11	2.15	2.37	2.66	2.93	3.15	3.23	3.11	2.77	2.25	1.63	1.03	0.64	0.59	0.84	1.26	1.75	2.26	2.73
15	3.07	3.20	3.11	2.85	2.47	2.13	2.01	2.14	2.43	2.75	3.05	3.28	3.32	3.12	2.67	2.07	1.41	0.84	0.55	0.61	0.95	1.42	1.94	2.48
16	2.94	3.19	3.20	3.00	2.64	2.24	1.96	1.95	2.17	2.51	2.87	3.20	3.41	3.37	3.05	2.52	1.86	1.20	0.70	0.54	0.72	1.13	1.63	2.20
17	2.74	3.12	3.23	3.10	2.80	2.39	2.01	1.83	1.94	2.25	2.62	3.01	3.34	3.48	3.33	2.90	2.20	1.63	1.01	0.64	0.63	0.98	1.37	1.92
18	2.50	2.98	3.21	3.18	2.93	2.54	2.11	1.81	1.78	2.00	2.35	2.75	3.15	3.44	3.46	3.19	2.60	2.00	1.40	0.89	0.70	0.94	1.20	1.68
19	2.25	2.79	3.13	3.20	3.03	2.69	2.25	1.86	1.68	1.79	2.09	2.46	2.88	3.26	3.44	3.33	2.86	2.33	1.71	1.24	0.90	0.89	1.24	1.53
20	2.04	2.58	3.00	3.17	3.09	2.81	2.41	1.96	1.67	1.65	1.86	2.18	2.57	2.98	3.28	3.32	3.10	2.60	2.08	1.62	1.19	1.04	1.18	1.48
21	1.90	2.39	2.85	3.11	3.11	2.91	2.57	2.13	1.74	1.58	1.67	1.92	2.25	2.64	3.00	3.18	3.11	2.85	2.45	1.98	1.53	1.28	1.31	1.52
22	1.83	2.24	2.68	3.00	3.10	2.99	2.72	2.33	1.90	1.60	1.55	1.70	1.94	2.27	2.64	2.92	3.01	2.89	2.63	2.28	1.89	1.59	1.51	1.62
23	1.83	2.13	2.50	2.85	3.04	3.02	2.85	2.54	2.14	1.76	1.55	1.54	1.67	1.89	2.21	2.55	2.77	2.81	2.71	2.51	2.23	1.95	1.79	1.79
24	1.89	2.07	2.33	2.65	2.90	3.00	2.94	2.75	2.42	2.04	1.71	1.53	1.48	1.56	1.76	2.08	2.30	2.50	2.66	2.62	2.50	2.31	2.15	2.07
25	2.05	2.09	2.21	2.44	2.70	2.89	2.96	2.90	2.70	2.39	2.02	1.70	1.47	1.34	1.36	1.57	1.89	2.11	2.40	2.59	2.65	2.61	2.52	2.42
26	2.33	2.23	2.18	2.26	2.46	2.69	2.88	2.96	2.92	2.74	2.43	2.06	1.68	1.35	1.12	1.11	1.33	1.68	2.00	2.37	2.61	2.76	2.82	2.79
27	2.69	2.51	2.30	2.18	2.23	2.43	2.69	2.90	3.02	3.01	2.84	2.52	2.04	1.62	1.16	0.86	0.84	1.09	1.51	1.96	2.36	2.70	2.95	3.07
28	3.04	2.87	2.59	2.28	2.11	2.17	2.42	2.72	2.98	3.14	3.16	2.96	2.52	2.00	1.40	0.90	0.58	0.59	0.92	1.41	1.93	2.42	2.86	3.18
29	3.30	3.21	2.94	2.54	2.16	1.99	2.13	2.45	2.80	3.10	3.32	3.30	3.05	2.49	1.96	1.35	0.70	0.35	0.42	0.84	1.39	1.97	2.55	3.00
30	3.31	3.34	3.23	2.88	2.39	1.97	1.87	2.11	2.51	2.91	3.26	3.43	3.46	3.07	2.41	1.78	1.08	0.50	0.30	0.48	0.88	1.47	2.10	2.65
31	3.17	3.42	3.37	3.08	2.70	2.14	1.76	1.78	2.13	2.58	3.03	3.35	3.50	3.45	3.01	2.47	1.78	1.03	0.48	0.39	0.69	1.13	1.65	2.33

#### (ii) Jadual ramalan pasang surut bagi RMN bulan Januari 2006

PASIR GUDANG, JOHOR DARUL TAKZIM LAT 0126 N LONG 10354 E																												
YEAR 2006																												
TIME ZONE -0800					JANUARY																			HEIGHTS IN METRES				
Hour		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
1 Su	3.2	3.3	3.2	2.9	2.5	2.1	2	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.3	2.9	2.4	1.7	1.1	0.5	0.4	0.6	1	1.5	2	2.5				
2 M	3	3.3	3.3	3.2	2.8	2.3	2	2	2.3	2.6	2.9	3.2	3.4	3.3	2.9	2.3	1.6	1	0.5	0.4	0.6	1.1	1.6	2.1				
3 T	2.7	3.1	3.4	3.3	3.1	2.7	2.2	1.9	2	2.3	2.6	3	3.3	3.4	3.3	2.9	2.2	1.5	0.9	0.5	0.8	1.2	1.7					
4 W	2.3	2.8	3.2	3.4	3.2	2.9	2.5	2	1.8	1.9	2.3	2.6	3	3.3	3.4	3.3	2.8	2.2	1.5	0.9	0.7	0.7	1	1.4				
5 Th	1.9	2.5	3	3.3	3.3	3.1	2.7	2.2	1.8	1.7	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.3	3.1	2.7	2.1	1.5	1.1	0.9	1	1.3				
6 F	1.6	2.1	2.6	3.1	3.2	3.2	2.9	2.5	2	1.7	1.8	2.1	2.4	2.8	3.1	3.2	3	2.6	2.1	1.6	1.3	1.2	1.3					
7 Sa	1.6	1.9	2.3	2.8	3.1	3.1	3	2.7	2.2	1.8	1.6	1.6	1.7	2	2.3	2.6	2.9	2.9	2.8	2.5	2.2	1.8	1.6	1.5				
8 Su	1.6	1.8	2.1	2.5	2.8	3	3	2.8	2.5	2.1	1.7	1.5	1.5	1.6	1.8	2	2.4	2.6	2.7	2.7	2.6	2.3	2.1	1.9				
9 M	1.8	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.4	2	1.6	1.4	1.3	1.4	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.7	2.7	2.6	2.4				
10 T	2.2	2.1	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.4	2	1.6	1.3	1.1	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	2.9	2.8				
11 W	2.6	2.4	2.2	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.4	1.9	1.5	1.1	0.9	0.9	1.1	1.4	1.8	2.2	2.6	2.9	3.1				
12 Th	3	2.8	2.4	2.2	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.4	1.9	1.4	1	0.8	0.8	1.1	1.4	1.8	2.3	2.7	3.1				
13 F	3.2	3.1	2.8	2.4	2.1	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3	2.7	2.3	1.7	1.2	0.8	0.7	0.8	1.1	1.5	2	2.4	2.9				
14 Sa	3.2	3.2	3	2.6	2.2	2	2.1	2.3	2.5	2.7	3	3.1	3	2.7	2.1	1.5	1	0.7	0.7	0.9	1.3	1.7	2.2	2.7				
15 Su	3	3.2	3.1	2.8	2.4	2	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1	3.2	3	2.5	1.9	1.3	0.8	0.6	0.8	1.1	1.5	1.9	2.4				
16 M	2.9	3.2	3.2	3	2.6	2.1	1.8	1.9	2.1	2.5	2.8	3.1	3.3	3.3	2.9	2.3	1.7	1.1	0.7	0.7	0.9	1.3	1.7	2.2				
17 T	2.7	3.1	3.2	3	2.7	2.3	1.8	1.7	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.4	3.2	2.7	2	1.4	0.9	0.7	0.8	1.2	1.5	2				
18 W	2.5	3	3.2	3.1	2.8	2.4	2	1.7	1.7	2	2.3	2.7	3	3.3	3.3	3	2.4	1.8	1.2	0.9	0.9	1.1	1.4	1.8				
19 Th	2.3	2.8	3.1	3.1	2.9	2.5	2.1	1.7	1.6	1.7	2.1	2.4	2.8	3.1	3.3	3.1	2.7	2.1	1.5	1.1	0.9	1.1	1.4	1.7				
20 F	2.1	2.6	3	3.2	3	2.7	2.3	1.8	1.5	1.6	1.8	2.1	2.5	2.9	3.1	3.1	2.9	2.4	1.9	1.4	1.1	1.1	1.3	1.6				
21 Su	2	2.4	2.9	3.1	3.2	2.8	2.4	2	1.6	1.5	1.6	1.8	2.1	2.5	2.8	3	2.9	2.6	2.2	1.7	1.3	1.2	1.4	1.6				
22 Sa	1.9	2.3	2.7	3	3.1	2.9	2.6	2.2	1.8	1.5	1.6	1.8	2.1	2.4	2.7	2.8	2.7	2.4	2.1	1.7	1.5	1.5	1.7					
23 M	1.9	2.1	2.5	2.8	3	3	2.8	2.4	2	1.7	1.5	1.4	1.5	1.7	2	2.3	2.5	2.6	2.5	2.3	2.1	1.9	1.8	1.8				
24 T	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	2.9	2.8	2.6	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1				
25 W	2	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.8	2.7	2.5	2.3	1.9	1.6	1.3	1.2	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.5	2.5	2.5	2.4				
26 Th	2.3	2.2	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	2.7	2.5	2.3	1.9	1.5	1.1	1	1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.7	2.7				
27 F	2.6	2.4	2.2	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.6	2.3	1.8	1.4	0.9	0.7	0.8	1.1	1.4	1.8	2.2	2.5	2.8	2.9				
28 Sa	2.9	2.8	2.5	2.2	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8	2.9	2.9	2.7	2.3	1.8	1.2	0.7	0.6	0.7	1	1.4	1.8	2.3	2.7	3				
29 Su	3.1	3	2.8	2.4	2.1	2	2.3	2.5	2.8	3	3.1	3.1	2.8	2.3	1.7	1.1	0.6	0.4	0.6	1	1.4	1.9	2.4	2.8				
30 M	3.1	3.1	3	2.7	2.2	1.9	2	2.3	2.6	2.9	3.1	3.3	3.2	2.8	2.2	1.6	0.9	0.5	0.4	0.7	1.1	1.6	2	2.5				
31 T	3	3.2	3.1	2.9	2.5	2	1.8	1.9	2.3	2.6	3	3.2	3.4	3.3	2.8	2.2	1.5	0.9	0.5	0.5	0.8	1.2	1.7	2.2				

## 4.0 Hasil Analisis Stesen Pasang Surut Johor Bahru Bagi Bulan Februari 2006

### (i) Jadual ramalan pasang surut bagi UTM bulan Februari 2006

JOHOR DARUL TAKZIM Lat 01 26 12      Long 103 55 30																								
YEAR 2006												FEBRUARY												
												HEIGHTS IN METRES												
Hour	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Date																								
1	3.04	3.40	3.44	3.25	2.95	2.38	1.81	1.56	1.74	2.19	2.68	3.17	3.52	3.64	3.49	3.01	2.33	1.62	0.91	0.42	0.43	0.85	1.42	2.03
2	2.69	3.24	3.50	3.33	3.03	2.63	2.01	1.51	1.42	1.72	2.21	2.73	3.26	3.60	3.57	3.50	3.00	2.25	1.62	0.93	0.62	0.77	1.22	1.77
3	2.37	2.97	3.37	3.44	3.23	2.83	2.27	1.67	1.30	1.35	1.71	2.21	2.75	3.28	3.60	3.60	3.30	2.90	2.28	1.60	1.10	0.97	1.21	1.64
4	2.16	2.70	3.17	3.38	3.29	2.99	2.52	1.94	1.43	1.20	1.33	1.70	2.18	2.70	3.18	3.40	3.40	3.10	2.70	2.21	1.70	1.40	1.40	1.65
5	2.04	2.50	2.94	3.24	3.28	3.09	2.73	2.24	1.72	1.33	1.19	1.33	1.66	2.11	2.59	2.96	3.14	3.10	2.90	2.60	2.24	1.93	1.78	1.83
6	2.04	2.37	2.74	3.04	3.18	3.13	2.90	2.52	2.07	1.64	1.34	1.23	1.33	1.60	1.99	2.38	2.67	2.83	2.85	2.75	2.57	2.38	2.23	2.15
7	2.17	2.32	2.57	2.83	3.01	3.06	2.97	2.74	2.40	2.03	1.69	1.42	1.27	1.29	1.50	1.81	2.13	2.39	2.58	2.67	2.68	2.64	2.59	2.51
8	2.42	2.38	2.46	2.62	2.79	2.90	2.94	2.86	2.67	2.40	2.10	1.79	1.48	1.26	1.21	1.36	1.61	1.89	2.18	2.42	2.60	2.72	2.80	2.81
9	2.71	2.55	2.45	2.46	2.56	2.69	2.80	2.86	2.83	2.70	2.49	2.21	1.86	1.48	1.18	1.09	1.19	1.43	1.74	2.08	2.39	2.65	2.86	2.97
10	2.95	2.78	2.54	2.37	2.35	2.44	2.60	2.76	2.87	2.89	2.81	2.61	2.29	1.86	1.40	1.05	0.93	1.05	1.34	1.70	2.09	2.48	2.80	3.03
11	3.10	2.98	2.71	2.40	2.21	2.20	2.35	2.57	2.79	2.96	3.03	2.96	2.71	2.29	1.77	1.24	0.88	0.80	0.99	1.34	1.77	2.22	2.66	3.00
12	3.16	3.12	2.88	2.52	2.18	2.01	2.09	2.33	2.62	2.90	3.12	3.20	3.07	2.72	2.20	1.59	1.04	0.72	0.74	1.03	1.46	1.94	2.45	2.90
13	3.17	3.21	3.03	2.67	2.24	1.92	1.86	2.05	2.38	2.73	3.07	3.31	3.35	3.10	2.60	2.00	1.36	0.84	0.63	0.79	1.17	1.66	2.21	2.74
14	3.13	3.26	3.14	2.80	2.37	1.92	1.69	1.78	2.09	2.49	2.90	3.28	3.48	3.40	3.00	2.40	1.78	1.12	0.71	0.67	0.96	1.42	1.96	2.54
15	3.04	3.29	3.24	2.97	2.52	2.01	1.63	1.56	1.80	2.20	2.65	3.11	3.46	3.56	3.33	2.80	2.20	1.51	0.94	0.71	0.86	1.25	1.75	2.33
16	2.89	3.26	3.32	3.10	2.69	2.15	1.65	1.42	1.54	1.89	2.35	2.84	3.30	3.56	3.50	3.05	2.50	1.90	1.28	0.89	0.88	1.17	1.61	2.15
17	2.72	3.18	3.34	3.20	2.80	2.33	1.76	1.37	1.34	1.62	2.04	2.53	3.04	3.42	3.53	3.30	2.80	2.20	1.60	1.17	1.00	1.18	1.56	2.03
18	2.56	3.06	3.32	3.28	2.98	2.50	1.94	1.43	1.23	1.38	1.76	2.21	2.71	3.17	3.43	3.37	3.00	2.50	2.00	1.50	1.22	1.28	1.57	1.97
19	2.43	2.91	3.25	3.30	3.09	2.69	2.10	1.60	1.23	1.22	1.49	1.90	2.37	2.85	3.20	3.30	3.10	2.70	2.30	1.80	1.52	1.44	1.63	1.96
20	2.34	2.76	3.12	3.27	3.16	2.80	2.38	1.84	1.38	1.18	1.30	1.61	2.01	2.46	2.87	3.10	3.09	2.90	2.50	2.20	1.87	1.70	1.76	1.99
21	2.29	2.62	2.95	3.17	3.17	2.96	2.60	2.10	1.66	1.31	1.23	1.38	1.67	2.04	2.40	2.69	2.90	2.80	2.69	2.49	2.23	2.04	1.99	2.09
22	2.27	2.50	2.76	2.99	3.09	3.00	2.79	2.40	2.00	1.62	1.37	1.31	1.40	1.62	1.94	2.29	2.50	2.60	2.68	2.59	2.53	2.40	2.32	2.30
23	2.34	2.43	2.57	2.76	2.91	2.97	2.90	2.70	2.40	2.05	1.72	1.47	1.33	1.32	1.46	1.73	2.05	2.30	2.49	2.60	2.70	2.70	2.67	2.61
24	2.54	2.46	2.44	2.51	2.66	2.81	2.90	2.79	2.70	2.48	2.20	1.86	1.53	1.26	1.14	1.21	1.46	1.80	2.08	2.40	2.70	2.79	2.95	2.95
25	2.83	2.64	2.43	2.32	2.36	2.54	2.75	2.88	2.90	2.89	2.70	2.40	1.99	1.50	1.12	0.89	0.92	1.21	1.63	2.07	2.48	2.80	3.00	3.10
26	3.10	2.88	2.58	2.26	2.11	2.20	2.46	2.76	3.00	3.10	3.09	2.90	2.50	1.89	1.40	0.91	0.62	0.69	1.06	1.57	2.09	2.59	3.00	3.10
27	3.20	3.00	2.70	2.36	1.98	1.87	2.07	2.45	2.83	3.16	3.18	3.10	2.90	2.31	1.75	1.20	0.71	0.43	0.59	1.06	1.63	2.21	2.79	3.16
28	3.27	3.10	2.79	2.50	2.03	1.65	1.66	2.01	2.48	2.94	3.30	3.49	3.39	3.00	2.40	1.68	1.08	0.56	0.38	0.78	1.22	1.82	2.44	3.00

### (ii) Jadual ramalan pasang surut bagi RMN bulan Februari 2006

PASIR GUDANG, JOHOR DARUL TAKZIM																									
YEAR 2006		LAT 0126 N LONG 103 54 E																							
TIME ZONE - 0800		FEBRUARY																		HEIGHTS IN METRES					
Hour		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1 W	2.8	3.1	3.2	3	2.7	2.2	1.7	1.6	1.9	2.2	2.7	3	3.3	3.5	3.3	2.8	2.1	1.4	0.8	0.5	0.7	1	1.4	1.9	
2 Th	2.5	3	3.2	3.1	2.8	2.4	1.9	1.5	1.5	1.8	2.2	2.6	3	3.4	3.5	3.2	2.7	2	1.4	0.9	0.8	1	1.3	1.7	
3 F	2.2	2.7	3.1	3.2	3	2.6	2.1	1.6	1.3	1.4	1.7	2.1	2.5	3	3.3	3.3	3	2.6	2	1.4	1.1	1.1	1.3	1.6	
4 Sa	2	2.5	2.9	3.2	3.1	2.7	2.3	1.8	1.3	1.2	1.4	1.6	2	2.4	2.9	3.1	3.1	2.8	2.4	2	1.5	1.4	1.4	1.6	
5 Su	1.9	2.3	2.7	3	3.1	2.9	2.5	2	1.6	1.2	1.2	1.3	1.6	1.9	2.3	2.7	2.9	2.8	2.6	2.4	2	1.8	1.7	1.8	
6 M	2	2.2	2.5	2.9	3	2.9	2.7	2.3	1.9	1.5	1.2	1.2	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2	
7 T	2.1	2.2	2.4	2.7	2.8	2.9	2.8	2.5	2.2	1.8	1.5	1.3	1.2	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	2.4	2.3	
8 W	2.3	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.6	2.5	2.2	1.9	1.6	1.3	1.1	1.1	1.2	1.4	1.7	2	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	
9 Th	2.5	2.4	2.3	2.3	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.3	2	1.7	1.3	1.1	1	1.1	1.3	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7	2.8	
10 F	2.8	2.6	2.3	2.2	2.2	2.3	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.5	2.1	1.7	1.2	0.9	0.9	1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	
11 Sa	2.9	2.8	2.5	2.2	2	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.6	1.1	0.8	0.8	1	1.3	1.7	2	2.4	2.8	
12 Su	3	2.9	2.7	2.3	1.9	1.9	2	2.3	2.5	2.7	2.9	3	2.9	2.5	1.9	1.4	0.9	0.7	0.8	1.1	1.4	1.8	2.3	2.7	
13 M	2.9	3	2.8	2.4	2	1.7	1.7	2	2.3	2.6	2.9	3.1	3.2	2.9	2.3	1.7	1.2	0.8	0.7	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	
14 T	2.9	3	2.9	2.5	2.1	1.7	1.5	1.7	2.1	2.4	2.8	3.1	3.2	3.2	2.7	2.1	1.5	1	0.7	0.8	1.1	1.5	1.9	2.4	
15 W	2.9	3.1	3	2.7	2.3	1.8	1.4	1.5	1.8	2.1	2.5	2.9	3.3	3.4	3.1	2.5	1.9	1.3	0.8	0.8	1	1.3	1.7	2.2	
16 Th	2.8	3.1	3.1	2.8	2.4	1.9	1.5	1.3	1.5	1.9	2.2	2.7	3.1	3.4	3.3	2.8	2.2	1.6	1.1	0.9	1	1.3	1.6	2.1	
17 F	2.6	3	3.2	2.9	2.5	2.1	1.6	1.3	1.3	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.3	3	2.5	1.9	1.3	1	1	1.3	1.6	1.9	
18 Sa	2.4	2.9	3.2	3.1	2.7	2.2	1.7	1.3	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	2.9	3.2	3.1	2.7	2.2	1.7	1.2	1.1	1.3	1.6	1.9	
19 Su	2.3	2.7	3.1	3.1	2.8	2.4	1.8	1.4	1.1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.6	3	3	2.8	2.4	2	1.5	1.3	1.3	1.6	1.9	
20 M	2.2	2.6	2.9	3.1	2.9	2.5	2.1	1.6	1.2	1.1	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	2.8	2.8	2.6	2.2	1.9	1.6	1.5	1.7	1.9	
21 T	2.2	2.5	2.8	3	2.9	2.7	2.3	1.8	1.4	1.2	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.5	2.4	2.2	2	1.8	1.8	2	
22 W	2.2	2.4	2.6	2.8	2.8	2.7	2.5	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.3	1.4	1.7	2	2.2	2.3	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	
23 Th	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.6	2.4	2.1	1.8	1.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.5	1.8	2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	
24 F	2.3	2.3	2.3	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.2	1.9	1.6	1.3	1.1	1	1.1	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.5	2.7	2.7	
25 Sa	2.6	2.4	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.4	2.1	1.7	1.2	0.9	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8	2.2	2.5	2.7	2.8	
26 Su	2.8	2.6	2.3	2.1	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8	2.8	2.8	2.6	2.2	1.6	1.1	0.7	0.6	0.8	1.1	1.5	1.9	2.3	2.7	2.9	
27 M	2.9	2.7	2.4	2.1	1.9	1.9	2.2	2.5	2.8	3	3.1	3	2.7	2.1	1.5	0.9	0.6	0.5	0.8	1.2	1.7	2.1	2.5	2.9	
28 T	3	2.8	2.5	2.2	1.8	1.6	1.8	2.2	2.6	2.9	3.1	3.3	3.2	2.7	2.1	1.4	0.8	0.5	0.6	1	1.4	1.9	2.3	2.8	

